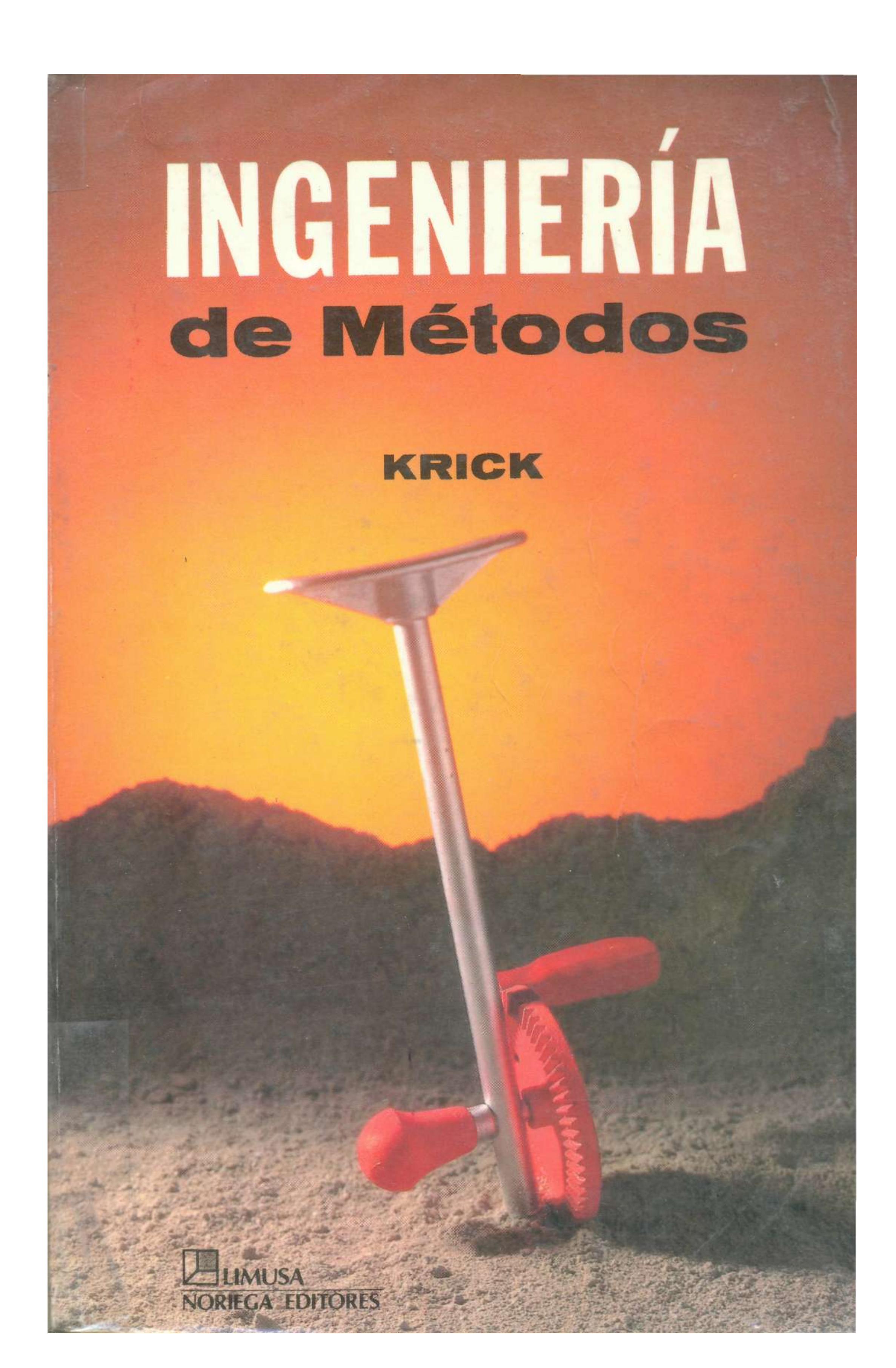

INGENIERÍA
de Métodos
KRICK
LIMUSA
NORIEGA EDITORES

VERSIÓN AUTORIZADA EN ESPAÑOL DE LA OBRA
PUBLICADA EN INGLÉS, POR JOHN WILEY & SONS, INC., CON EL TITULO:
METHODS ENGINEERING
©JOHN WILEY & SONS, INC., NUEVA YORK

COLABORADOR EN LA TRADUCCIÓN:
ARMANDO NIÑO NOVO
INGENIERO QUÍMICO DE LA UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN. MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE STANFORD.

REVISIÓN:
DAGOBERTO DE LA SERNA
INGENIERO CONSULTOR

LA PRESENTACIÓN Y DISPOSICIÓN EN CONJUNTO DE

INGENIERÍA DE MÉTODOS

SON PROPIEDAD DEL EDITOR. NINGUNA PARTE DE ESTA OBRA PUEDE SER REPRODUCIDA O TRANSMITIDA, MEDIANTE NINGÚN SISTEMA O MÉTODO, ELECTRÓNICO O MECÁNICO (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, LA GRABACIÓN O CUALQUIER SISTEMA DE RECUPERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN), SIN CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL EDITOR.

DERECHOS RESERVADOS:

©1994, EDITORIAL LIMUSA, S.A. DE C.V.
GRUPO NORIEGA EDITORES
BALDERAS 95, MÉXICO, D.F.
C.P. 06040
TELÉFONO 521-21-05
FAX 512-29-03

CANIEM NÚM. 121

DÉCIMA PRIMERA REIMPRESIÓN

HECHO EN MÉXICO
ISBN 968-18-0535-2
(13143)



A mis padres

Prólogo

Este libro difiere de los libros de texto actuales referentes al estudio de tiempos y movimientos en los siguientes aspectos importantes:

1. Se introduce una variedad de técnicas y teorías nuevas. No obstante la necesidad que existe de un libro de texto con un enfoque moderno en la materia, el peso de la tradición ofrece un límite a la magnitud del cambio que se pudiese lograr, por ello, he evitado separarme de la tradición más allá de lo que la especialidad lo permite.
2. En general, se evitan los detalles minuciosos, especialmente respecto a la manera de ejecutar las diversas técnicas y procedimientos. La descripción detallada de los procedimientos resulta inútil y de hecho fútil en un curso de enseñanza superior. Los detalles de ejecución difieren radicalmente de una a otra compañía y se asimilan fácilmente en la práctica. Además, tales detalles ya los ha olvidado el estudiante cuando llega el momento de necesitarlos. Lo que es peor aún, los detalles frecuentemente obscurecen asuntos más importantes concernientes a cuando y donde aplicar una técnica determinada, su importancia relativa, sus fallas e imperfecciones y otros aspectos importantes. El campo de la Ingeniería Industrial atraviesa una época de progreso extraordinario, un período de superación, de creciente exactitud y objetividad, de perfeccionamiento en perspectiva. Los estudiantes de un curso con estas características saben esto y tienen derecho a resentirse por la cantidad de trivialidades que se les presentan. Este resentimiento posiblemente es mayor si el estudiante está consciente de los problemas principales confrontados por una empresa y de la nueva metodología con que cuentan los ingenieros industriales para atacarlos.
3. En este volumen se da una gran importancia a la perspectiva global. Lo más importante es que el estudiante esté preparado, cuando se requiera, para tomar una decisión inteligente en lo que se refiere a la mejor política, técnica o curso de acción. Si no es capaz de hacer lo anterior, el proceso educativo habrá fallado aun cuando conozca los detalles de ***cómo*** hacerlo.
4. Se da mayor énfasis a la evaluación de principios y prácticas. En los casos en que es aconsejable, el material de evaluación se separa del resto de lo expuesto, de tal manera que sea posible posponerlo para la parte final

del curso, o usarlo para un curso más avanzado. Por varias razones se incorpora una cantidad moderada de valoración crítica. La principal es la de elevar el nivel de selección del estudiante por encima del adquirido en un curso común de estudio de tiempos y movimientos. Otra razón es la de estimular el interés del estudiante aumentando su motivación con la inclusión de algunos de los temas de controversia en la materia.

Es un error que en un libro de texto se enmascare este material presentándolo como un tema simple, sin imperfecciones, científico y sin controversias, lo cual desde luego no es cierto. Yo no he creado tal ilusión; por el contrario, espero inculcar al lector una actitud objetiva y realista.

5. La filosofía y el procedimiento aquí recomendados tienen un enfoque más de ingeniería y de diseño que de reducción de costos o simplificación de trabajo. Anteriormente se había dado mucho énfasis a los principios, medios y técnicas y muy poco a la manera en que éstos se aplican. La especificación del método de trabajo requiere del mismo riguroso proceso de solución de problemas que un ingeniero aplicaría a cualquier otro tipo de problema de diseño. Como consecuencia, se dedica considerable atención al proceso de diseño como marco para la aplicación de principios y técnicas.

6. Se supone un conocimiento de Estadística elemental: la familiaridad con la teoría elemental de muestreo es requisito indispensable para cualquier curso que trate de un proceso de medición.

7. Además de presentar los principios y técnicas y su evaluación, se dedica considerable atención a su aplicación. Se hacen varias sugerencias para obtener los mejores resultados de cada técnica y para minimizar las dificultades originadas al usarlas. Los consejos sobre la realización son tan importantes como las instrucciones sobre cómo hacei las cosas.

8. Se presentan y discuten varias de las disposiciones sobre las técnicas y principios que aparecen en este libro. Se piensa que éste sea uno de los más valiosos atributos de este trabajo. Un propósito de esto es el de prevenir al lector contra numerosas afirmaciones falsas, inexactas y prejuiciadas que aparecen en las publicaciones sobre medición de trabajo. Quizás un propósito más importante es ofrecer al estudiante una experiencia valiosa y así elevar su "criterio analítico" por medio de un examen objetivo de las demandas citadas. Entre las afirmaciones que se discuten, existen varios ejemplos evidentes de omisión de objetividad profesional, reglas aceptadas de inferencia científica y detalles prácticos de los cuales el estudiante puede beneficiarse.

Se pretende que esta obra sirva principalmente como texto de introducción. No obstante, la'inclusión del material sobre evaluación de teorías y técnicas, el cual en general se ha separado del material básico, tanto- este como la sección sobre administración de la función de la Ingeniería de Métodos y algunos de los temas más avanzados, proporcionará considerable

material para un curso avanzado de Ingeniería de Métodos. Con el fin de aportar una buena introducción general al tema, intento lograr lo siguiente:

a) Familiarizar al estudiante con los principios fundamentales, procedimientos y técnicas.

b) Proporcionar una valoración de éstos.

c) Proporcionar una base para elegir inteligentemente la técnica o curso de acción más apropiados para un conjunto de circunstancias determinadas.

d) Aconsejar respecto a la realización eficaz de los procedimientos y técpicas presentados.

e) Lograr un nivel de distinción más alto que el usual y, por ende, una habilidad superior para distinguir entre teorías, procedimientos y demandas lógicas e ilógicas tal y como el lector los encuentra en los libros y en la práctica.

Brevemente, el contenido y organización del material es como sigue:

Introducción. No obstante que por lo general el estudiante de centros superiores ansia aplicar los conocimientos teóricos que adquiere, por lo general, también, carece de la preparación necesaria para ello. Tomando esto en consideración, esta sección tiene como objeto presentar las bases que le permitirán eliminar algunas de las dificultades con las que tropieza una persona no familiarizada con el mundo de los negocios.

Parte I: El proceso de diseño. Esta, que es la primera de las 6 secciones principales, trata sobre el enfoque general a un problema de diseño.

Parte II: Introducción a la ingeniería de métodos. Es una orientación general en Ingeniería Industrial y en Ingeniería de Métodos, una de sus especialidades.

Parte III: Diseño de métodos. Es la aplicación del proceso de diseño a la especificación del método de trabajo. Aquí se introducen los principios y técnicas de esta especialidad, tanto los tradicionales como los modernos, usando como marco el proceso general de diseño. Una característica especial de esta sección es la presentación conjunta de dos ramas de conocimiento; la que procede de los sicólogos, concerniente a la integración del ser humano en un sistema y la de los principios que deducen y usualmente aplican los ingenieros de métodos, representados por los principios clásicos de la economía del movimiento.

Parte IV: Medición del trabajo. En esta sección, que trata de la medición de trabajo (estudio de tiempos)se ha puesto un énfasis especial en la

[1] Existe una variación extrema en]a terminología de esta especialidad. Debido a eso, cuando otros términos prevalezcan, éstos serán incluidos entre paréntesis inmediatamente después de la expresión usada.

«'valuación y en la realización fructífera. Se presenta una variedad de ideas nuevas, principalmente en el problemático tema de la calificación. Son dignos de mención los medios para analizar y resolver los problemas surgidos de las desviaciones en el método durante el período de observación, y un plan básicamente diferente para calificar el muestreo. Se introducen algunos medios útiles para el desarrollo de datos estándar, incluyendo el análisis de regresión y el uso de computadoras electrónicas.

Parte V: Problemas especiales de la ingeniería de métodos. Las dos car acterísticas que ocasionan más problemas al diseñador y al gerente, son el desequilibrio entre las capacidades de producción de los componentes del sistema y la variación en su funcionamiento. Los efectos de estas dos características en todas las fases del diseño y operación de un sistema de manufactura son de gran alcance, por lo que merecen un capítulo especial, dedicado al enfoque de la Ingeniería de Métodos a cada uno de ellos. Debido a que las actividades del trabajo directo son amplias diferentes a las del directo, en gran variedad de aspectos importantes se dedica un capítulo separado al enfoque de la Ingeniería de Métodos a este problema.

Parte VI: Administración de la función de la ingeniería de métodos. Esta sección, la cual es una innovación, consiste en una serie de capítulos que tratan sobre los diversos problemas de la administración de la ingeniería de métodos y la manera de resolverlos. La sección administrativa ofrece una perspectiva de todo lo que antecede, incluye una variedad de temas importantes que han sido descuidados en otros libros de texto y que proporcionan una base inteligente para el manejo y valoración de un departamento de Ingeniería de Métodos.

Las descripciones publicadas sobre medición de tiempos de métodos (M.T.M.) consisten, ya sea de una extensa y detallada descripción del sistema, o meramente de una presentación de las tablas de valores de tiempo. Ninguno de estos dos extremos es de utilidad a un estudiante que desee intentar la aplicación del sistema. En el apéndice A, se presenta una descripción condensada y simplificada del sistema M.T.M., que permitirá al estudiante lograr lo anterior sin tener que aprender un sinnúmero de reglas y definiciones.

Deseo expresar mi agradecimiento a mis colegas en el Lafayette College, por su paciente indulgencia, especialmente a mis colaboradores inmediatos, profesores Charles M. Merrick y Charles E. Moore. También estoy en deuda con el personal del Departamento de Administración Industrial y de Ingeniería, con la escuela Sibley de Ingeniería Mecánica, con la Universidad de Cornell, especialmente con los profesores J. William Gavett,

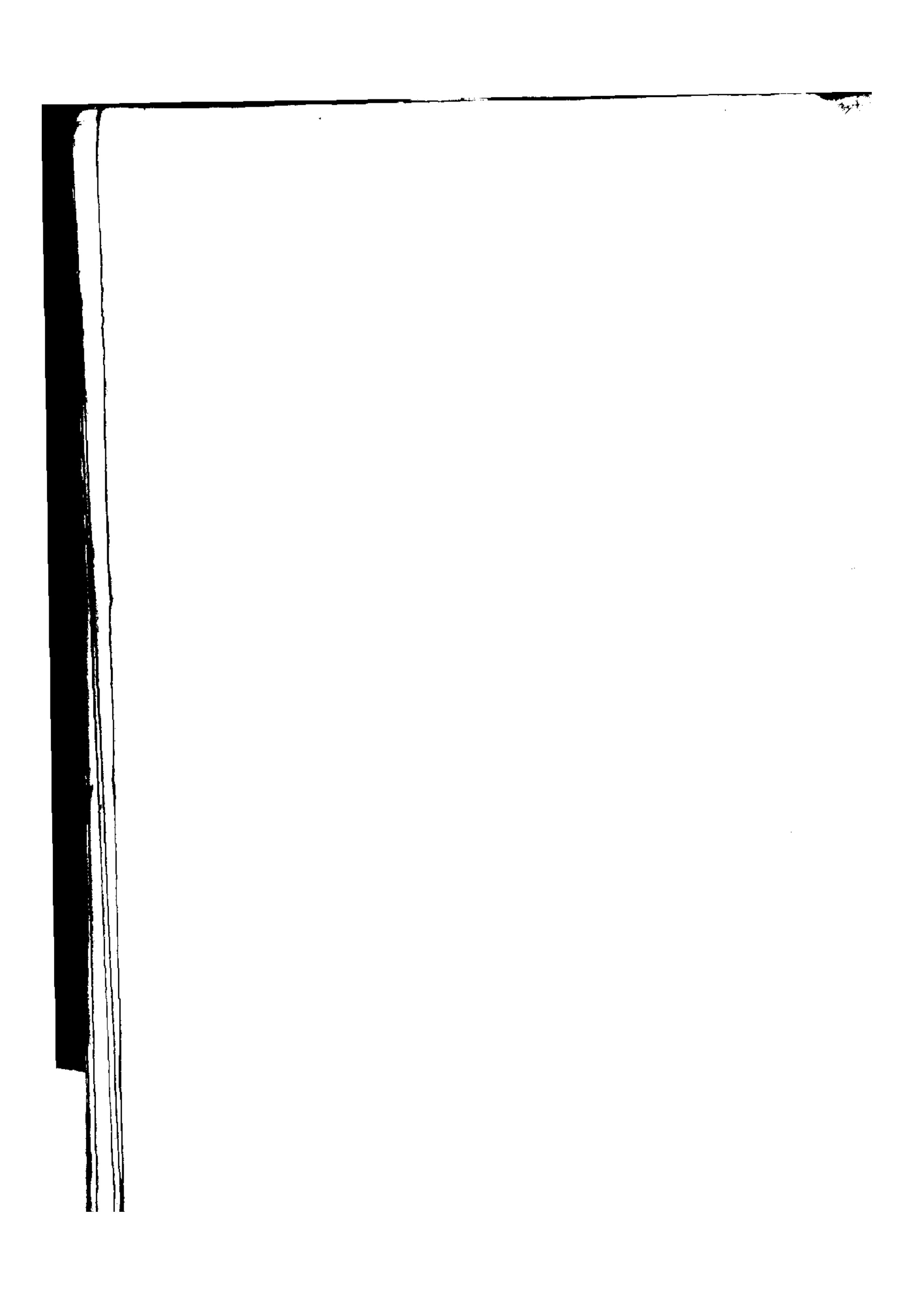
Martin W. Sampson Jr. y Andrew S. Schultz Jr., por su contribución al desarrollo profesional del autor. Mi agradecimiento sincero lo extiendo también a la señora de Edwin J. Harte, la señora de Robert Henthorn y a la señora de Lou Robinson por su paciencia durante la transcripción mecanográfica del manuscrito, a la señora de George Berkemeyer por su competente colaboración en la edición, y a los señores Robert J. Rees y William E. Van Order, Presidente y Vicepresidente Ejecutivo de la Mechanical Garden Trowel Company, por su atenta cooperación.

EDWARD V. KRICK

Easton, Pennsylvania

Indice del contenido

APENDICES



Indice de tablas

Tablas del apéndice

Introducción

UN CAMBIO NOTABLE

Para los lectores recién egresados de las aulas Universitarias, donde trabajaron durante varios semestres en matemáticas y ciencias puras, la materia ap'icada a que van a enfrentarse representa un cambio drástico, cambio al cual algunos estudiantes tienen dificultad en adaptarse dentro de un período relativamente corto. Sin embargo, esta adaptación deberá efectuarse, si una persona va a resolver problemas reales de la industria. Es de lamentar que este cambio de punto de vista tenga que verificarse en una forma tan repentina.

Con la esperanza de facilitar y acelerar este cambio de perspectiva, es conveniente discutir desde un principio aquellos aspectos en los que este tema se diferencia del trabajo que predomina en los cursos iniciales de muchos programas universitarios. Con tal fin, se discutirán varias de las características importantes de la Ingeniería de Procesos y, en un mayor grado, los problemas de la ingeniería en general.

. Existe una gran diferencia entre las ciencias "exactas" y lo aquí expuesto, que tiene mucho de los atributos de un arte, en virtud del criterio **e** inventiva que requiere.

El número de soluciones posibles y la dificultad para evaluarlas

Por lo general, existen muchas, si no es que un número infinito de soluciones a los problemos característicos de l?, ingeniería. Muy pocas veces le es posible a un ingeniero, al resolver un problema, concebir siquiera un pequeño porcentaje de las muchas y diversas soluciones posibles. Además, por lo general, dos ingenieros que trabajan independientemente en el

mismo problema, encuentran casi siempre diferentes soluciones. Casi invariablemente el ingeniero encuentra que es imposible evaluar perfectamente las diferentes soluciones de un problema. Por lo común, son muchas las variables que intervienen y poco el tiempo disponible para evaluar las soluciones, de tal manera que en la mayoría de las veces solamente se consideran los factores más importantes. Además, en muchos casos le es imposible medir variables de importancia, en las que basa su toma de decisiones, y debe considerar tales factores como intangibles. Finalmente, existen errores en la medición y predicción del funcionamiento del diseño y, por tanto, gran parte de la evaluación final de las soluciones posibles se deja, por necesidad, al criterio más prudente.

El hecho de que ordinariamente tratamos con una pequeña fracción de todas las soluciones posibles y de que debemos escoger entre éstas, con base en una evaluación imperfecta, hace injustificable el referirnos a una solución de un problema de ingeniería, como a la respuesta correcta. Lo que más justificadamente podemos decir es: "ésta es ***una*** respuesta, ***una*** solución considerada superior en las soluciones posibles". Además, la diferencia de ideas y opiniones hace que la solución presentada por un ingeniero, no sea automáticamente aceptada. Usted, como ingeniero, sabe que fácilmente se duda de su criterio y que existen diferentes ideas y opiniones; circunstancias como éstas requieren algo más que presentar su solución al problema; es necesario exponer sus ideas y convencer a los demás de la superioridad de las mismas.

El papel de la inventiva en la solución de problemas de ingeniería

En gran parte de su trabajo, un ingeniero debe depender de su habilidad creativa para hallar las soluciones a los problemas. Aun cuando dispone de un cierto acervo de conocimientos, compuesto de principios, prácticas aceptadas, experiencias de problemas anteriores, etc., todo esto es de ayuda limitada, debido a la singularidad de la mayoría de los problemas a los que se enfrenta. Considerando la diferencia que. sucesivamente van presentando los problemas, una gran parte de los diseños de un ingeniero es el fruto de su inventiva personal. En muchas situaciones para las que no existen soluciones establecidas, basadas en principios y prácticas vigentes (o que acaso no le son conocidas) , él debe depender de su ingenio para crear ideas. Por consiguiente, la inventiva es un atributo indispensable que vale la pena empezar a cultivar desde ahora.

El papel del criterio

En ciertas etapas de nuestra formación académica, resulta difícil reconocer y aceptar el grado hasta el cual es aplicable el criterio en los problemas usuales de la ingeniería y la administración. Actualmente, y quizá por

fjgsgiacía, el criterio juega un papel importantísimo en todas las etapas 'del trabajo del ingeniero; por ejemplo:

1. La selección de los mejores procedimientos, técnica o práctica a seguir en la solución de un problema particular, requiere, ante todo, criterio, ya que los factores citados rara vez son claros, debido a lo cual suelen origi-Iare serias controversias entre los especialistas.

riít 2. Tanto en la selección como en la aplicación de las diversas técnicas ^[procedimientos, frecuentemente se requiere un grado de criterio difícil de glfcanzar.

Y tal como se mencionó antes, se necesita criterio para la evaluación ¿Ab la$ posibles soluciones a un problema.

:El ejercicio constante del criterio es inevitable, ya que en el dinámico •Mundo de los negocios, las decisiones deben tomarse rápidamente, a fin <te<encontrar y aplicar la solución antes de que el problema deje de existir; p¿r otiá parte, debe utilizarse libremente el criterio, a falta de una investigación cuantitativa y exhaustiva, y de una evaluación de todas las alternati-t vas y factores involucrados.

La manera en que se presentan los problemas

¡ Los problemas nunca se le presentan a uno en bandeja de plata; por -«i! contrario, casi siempre deben definirse, es decir, el procedimiento usual es el de enfrentarse a una situación, generalmente el estado actual **del** problema, para de ahí proseguir, lo que origina que en algunas ocasiones se confunda el problema real (lo que sucede aun a los ingenieros **más** experimentados). La situación embarazosa que presentan estos casos **obliga a** pretender una excusa; mientras que cuando se hace un intento serio para aislar y definir el problema básico de la situación, disminuye **la** probabilidad de perder el enfoque del problema.

Variación de los factores

Virtualmente, todos los aspectos de los fenómenos a los que un ingeniero se enfrenta manifiestan una variación considerable; entre ellos podemos citar: el ambiente en el que trabaja y las técnicas que él emplea, lfl» materiales que usa o especifica, el personal que trata, las mediciones y el .equipo de prueba que usa, el volumen del producto en el que se **interesa,** etc. Esta variación ocasiona un sinfín de dificultades, que hacen **creer** que nunca se tiene el "buen comportamiento" y claridad que uno **desearía** o que suele tener, variación que también es evidente en la práctica industrial. La manera como se hacen las cosas, la terminología usada y el S^ado del éxito obtenido, varían radicalmente de unas a otras compañías,

de manera que en la práctica frecuentemente es difícil, o imposible, hacer generalizaciones concernientes a tales cosas.

Imperfecciones de los métodos

No existe procedimiento, práctica o política empleada en el mundo de los negocios que no adolezca de imperfecciones y desventajas. Los medios para resolver problemas y las soluciones obtenidas, están muy lejos de la perfección. En ocasiones, las imperfecciones son claras y, sin embargo, algunas técnicas y procedimientos se emplean por la simple y práctica razón de que, en algún momento, son los mejores medios disponibles para lograr el propósito perseguido. En virtud de que ***deben*** obtenerse respuestas y resultados, tomarse decisiones, los especialistas ***usarán*** las mejores técnicas y procedimientos disponibles, independientemente de sus imperfecciones. No debemos olvidar que la selección de soluciones a los problemas cotidianos, ***consiste siempre en seleccionar un conjunto de posibilidades, todas ellas imperfectas.*** La imperfección muy raramente obstaculiza su uso.

La propiedad de lo indefinido

Otra propiedad de los problemas ciel mundo real, que origina dificultades y descontento, especialmente al principio, es la naturaleza indefinida de un gran número de los factores que involucra. Habrá muchas ocasiones, en este curso y en el mundo de los negocios, en que uno 110 pueda dar un claro sí o un no a una pregunta, ni obtener un resultado claro de una investigación o experimento. Y raramente las cosas son simplemente negras o blancas. En lugar de un simple sí o no, posible o imposible, económico o antieconómico, la respuesta que uno pueda dar se limita a un "QUIZA". Esta falta de conclusiones es algo a lo que uno se debe acostumbrar, ya que es una propiedad muy común de las respuestas a las preguntas que nos hacemos.

La evolución como propiedad

Al intentar entender por qué algunos aspectos de una empresa están organizados y operados de la manera en que ya lo están, encontramos con frecuencia que el sistema presente, en lugar de ser el resultado de un proceso de decisión deliberado y cuidadosamente meditado, es algo que simplemente "creció" al paso de los años. De hecho, existen numerosos procedimientos, formas y sistemas singulares e increíbles que son el resultado de un proceso casual de evolución, ya que en realidad nunca fueron diseñados, sino que simplemente surgieron, paso a paso, a lo largo de los

f

f 0ys. Probablemente esto pudo haber ocurrido en la distribución existente - té una planta; la organización actual de la compañía, el sistema de confíbilidad, la forma de pago de salarios y muchos otros aspectos de la ¿¿^ración; todos ellos simplemente "surgieron".

lector debe tener presente esto al tratar de encontrar una explicación **Objetiva** a ciertos asuntos o situaciones, ya que de lo contrario puede ^ éítóf buscando una explicación profunda que, simplemente, no existe. Ademáis, **el** hecho de que muchas de estas situaciones son **el** resultado de este ¿Üfoal proceso de evolución, hace que existan enormes oportunidades de **ahorro.**

dificultad que algunos estudiantes tienen para creer que tales situa- **$f8iieS** abundan en la industria, se relaciona con la equivocada y muy **difundida** creencia de que muchos de los problemas industriales son de ***ÍS¿*** fl solución. Gon frecuencia tienen la impresión de que debido a que **ftria compañía** emplea ingenieros para que diseñen sus productos, los pro-MWnas relacionados con el diseño están resueltos,- que porque los ingenieros **RMÍén** la distribución de la planta, el arreglo de las instalaciones y el flujo producto están por ello optimizados; o que el empleo de ingenieros «Socialistas en métodos, significa que no existen mejoras que hacer. Esto éértstituye un error grave (si esta virtual perfección existiera, imaginemos **dfe**! cuántas preocupaciones se librarían los gerentes), ya que cualquier **éíWtipañía** tiene un sinfín de problemas dignos de atención.

Uf larga y activa historia de la ingeniería de procesos

Is Para muchos lectores, la Ingeniería de Procesos[1] representará un cambio drástico' de tema, no únicamente por su naturaleza práctica, sino porque **tn**> :«s una materia común y corriente aplicada. Este campo se presta sorprendentemente a controversias, problemas y discusiones explosivas, tal ^ífcómo lo indica su vigorosa historia que data del siglo diecinueve. La Ingeniería de Procesos se ocupa directamente del establecimiento de niétados y cargas de trabajo. Como una consecuencia, los trabajadores, **tos** i sindicatos y el personal de supervisión, que tienen gran relación con **«te** ¡proceso, demuestran un activo interés en los resultados de los esfuer-w» ¡del ingeniero de procesos. Por los medios que él usa para determinar **los** ¿métodos y cargas de trabajo.

'El estudio de tiempos, que constituye una fase importante de la Ingeniera **• eje** Procesos, tiene una historia que data de muchas décadas y se tasa principalmente en el trabajo de Babbage, quien en su libro clásico, tiftilado ***Economy of Macliinery and Manufacture,*** publicado en 1833, ex**poso** la utilización de un elaborado estudio de tiempos en operaciones de manufactura. El capital ímpetu al estudio formal de tiempos fue dado Por Frederick W. Taylor. Su trabajo de vanguardia, que implicaba el uso

' [1] No obstante que el término Ingeniería de Procesos es cada vez más usado, Ornenos llaman a esta especialidad Estudio de Tiempos y Movimientos.

de extensos procedimientos de medición de tiempos, contiene una amplia documentación.[2] Los procedimientos para el estudio de tiempos, desarrollados por Taylor a principios del siglo, se adoptaron rápidamente en los círculos industriales y fueron ampliamente usados en 1920. Durante este período, así como entre los años 1920 a 1930, se abusó de esta técnica, se le hizo excesiva propaganda y fue aplicada erróneamente por una multitud de seudoexpertos, a quienes despectivamente se les llamaba "peritos en eficiencia". Desafortunadamente, los desaciertos cometidos en esa época han empañado la historia del estudio de tiempos al grado de que esta especialización, actualmente, goza de una reputación dudosa.

Las malas prácticas y abusos realizados en el pasado han influido para crear una actividad por demás antagónica de parte de los trabajadores y sindicatos, con la cual el ingeniero de métodos debe enfrentarse.

Lo que a primera vista pudiera aparecer como un sencillo procedimiento de rutina, constituye un foco de problemas en las relaciones obrero patronales. Es difícil imaginar el número de rencillas existentes entre compañías y sindicatos por quejas de trabajadores, de casos de conciliación y arbitraje y de huelgas originadas por asuntos relacionados con el estudio de tiempos. También son sorprendentes las cantidades de tiempo perdido, palabras acaloradas, medidas y contra medidas y negociaciones atribuibles también a la misma causa. Por lo mismo, el estudio de tiempos y problemas conexos constituye un dolor de cabeza para todos los interesados, especialmente para el pacificador gerente de Relaciones Industriales.

No obstante que el estudio de tiempos no es nada nuevo, las prácticas actuales no difieren apreciablemente de las introducidas por los precursores en este campo. Como consecuencia de ello, la tradición ejerce una gran influencia sobre las prácticas actuales. El poder de la tradición, y el hecho de que así se haya actuado durante los últimos 35 años, para mantener el ***statu quo,*** hace que se subestime fácilmente. Muchas teorías sobre estudios de tiempos, técnicas, procedimientos y situaciones, deben su existencia a este factor: la tradición, por lo que en tales casos resulta fútil buscar una razón teórica o económica.

La otra faceta importante de la Ingeniería de Procesos, denominada clásicamente estudio de movimientos y mencionada aquí con el nombre de diseño de métodos, ha tenido una historia igualmente larga, pero no tan interesante. Frank Gilbreth[3] fue el pionero en este campo durante la primera parte de este siglo. Muchas de sus aportaciones y las de la doctora Lillian Gilbreth a la filosofía y técnicas asociadas con el diseño de métodos de trabajo están aún en vigencia. Las características mencionadas respecto al estudio de tiempos y su historia se aplican también al estudio de movimientos, aunque en menor grado, de tal suerte que las teorías, procedimientos y resultados del estudio de movimientos son los temas de contro-

[2] **Frederick W. Taylor, *Principies of Scientific Management,* Harper and Brothers, Nueva York, 1915.**
[3] **Frank B. y Lillian M. Gilbreth, *Applied Motion Study,* Sturgis and Walton, Co., Nueva York, 1917.**

versia y causan una fricción considerable entre la compañía y el sindicato; este campo tiene una reputación desfavorable como resultado de las malas prácticas y de los abusos cometidos; la tradición ejerce una amplia influencia sobre la teoría y la práctica; los trabajadores mantienen un gran interés en los resultados que obtiene el ingeniero y en la manera de obtenerlos. Estar enterado de todo lo anterior facilitará una mayor apreciación y comprensión de lo que sigue. Darse cuenta de la existencia de estas circunstancias, significa tener una visión más sensata, lo cual es muy aceptable al enfocar este tema.

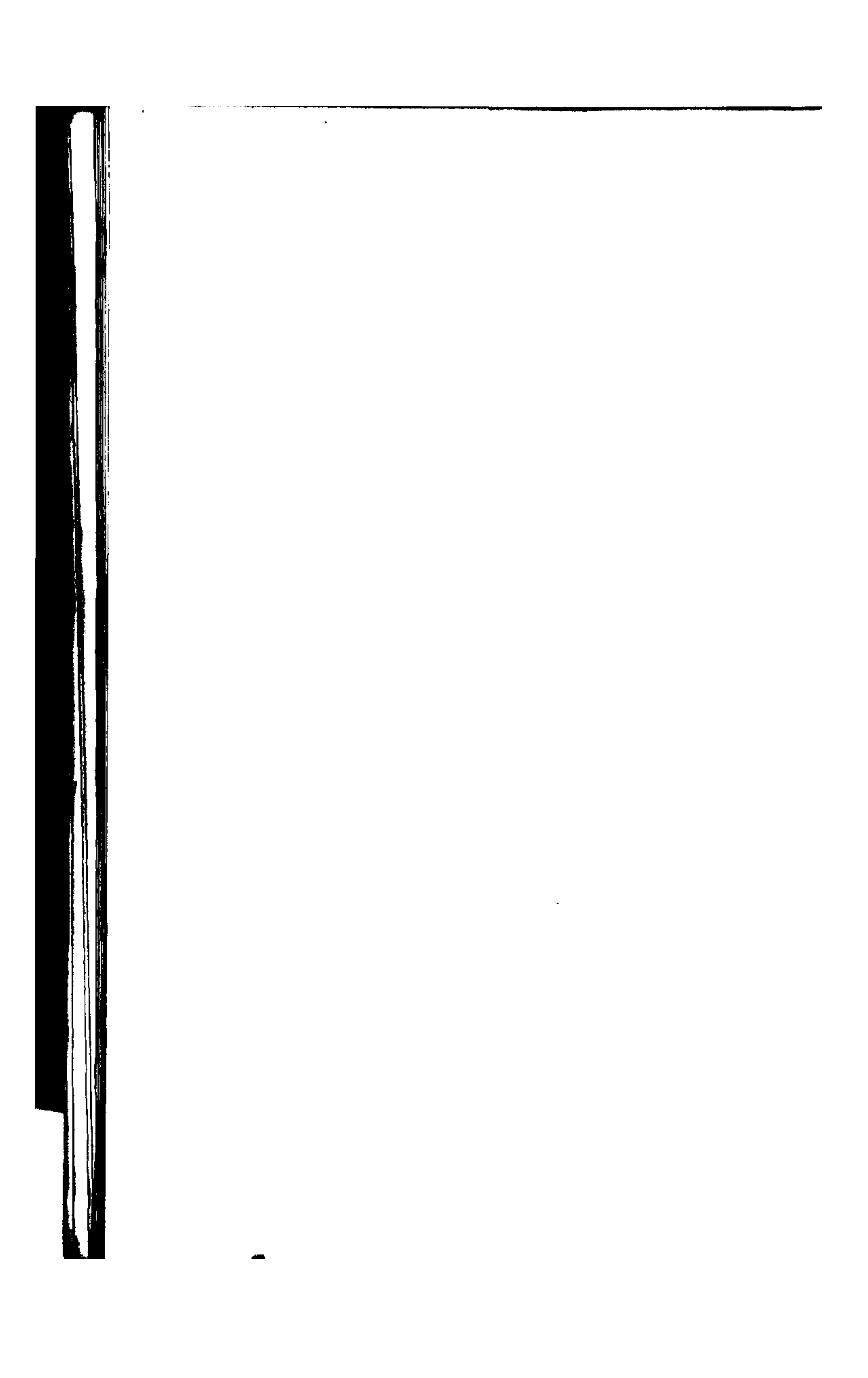
REFERENCIAS

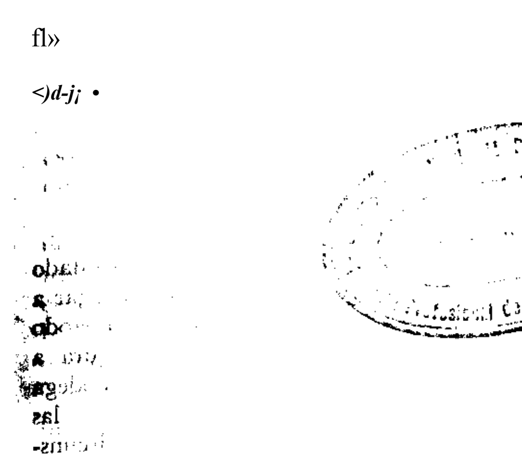
Davidson, H. O., ***Functions and Bases of Time Standards,*** **American Institute of Industrial Engineers, Nueva York, 1952.**

Fillipetti, G., ***Industrial Management in Transition,*** **edición revisada, Richard D. Irwin, Inc., Homeward, 111., 1953.**

PARTE I

EL PROCESO DE DISEÑO







Introducción al proceso de diseño

Características de un problema: un caso especial simplificado

La familiarización con los atributos generales de un problema con los fundamentos de los métodos generales de solución, facilitará la comprensibilidad y apreciación del diseño y del procedimiento que implica, ya que el diseño, en esencia, *es* solución de un problema relacionado con una clase especial de problemas que la compañía, por tradición, confía al ingeniero.

Un caso sencillo lo presenta el problema espacial, cuando se pretende definir la posición de dos puntos del espacio tridimensional, ya que se intenta recorrer el segmento de recta que los une. Este problema puede presentarse al cruzar un río de una orilla a otra, o al ir de una ciudad a otra, o de un planeta a otro. La característica de este problema, y de hecho la de muchos otros, es el gran número (en ocasiones, infinito) de soluciones alternativas, esto es, las diferentes maneras de trasfadarse de un lugar a otro. Existen ciertamente muchos modos de viajar y muchas rutas posibles entre dos ciudades, entre las que podernos distinguir las razonables, irrazonables y algunas ridiculas. El problema siempre implica el que se trate con varios métodos diferentes para lograr el resultado deseado; de hecho, si no existieran algunas alternativas conocidas o desconocidas, no habría problema.

Si todas las soluciones fueran igualmente satisfactorias, no existiría el problema; pero, por lo general, este no es el caso, ya que un problema implica algo más que encontrar cualquier método de trasladarse de un lugar a otro; se requiere encontrar el método preferido; por ejemplo,

el menos costoso. Por lo cual, si el método preferido es obvio desde un principio, entonces tampoco existe problema. La característica final de importancia del problema, en este caso simplificado, consiste en que se debe dar una solución dentro de un plazo definido.

Características de un problema: el caso general

El caso general incluye la búsqueda de un método para ir de un estado físico (forma, condición, o estado) a otro, así como también de un lugar a otro. Entonces, un problema puede implicar la búsqueda de un método de ir de pan sin tostar a pan tostado, de un nivel de temperatura a otro, de las piezas sueltas a un automóvil ensamblado, de la bodega al camión; así como de una ciudad a otra, o de una a otra de las orillas de un río. En cualquier problema existe un conjunto de circunstancias iniciales (entrada o punto de partida), al que, a partir de aquí, denominaremos "estado A". Similarmente, existe un conjunto de circunstancias (salida, objetivo, o resultado para cuyo logro se busca un método), y que, en lo sucesivo, denominaremos "estado B".

Para pasar del estado A al B, es indispensable realizar ciertos trabajos; por ejemplo, para ir de las piezas sueltas al carro ensamblado por completo, las partes ***deben*** ser ensambladas, y algunas deberán serlo antes que otras; para acelerar una masa, se debe aplicar una fuerza; para que el crecimiento de una planta se efectúe, se ***requiere*** agua, luz y ciertos nutrientes. Por razones físicas estas cosas han de suceder o se deben conseguir para ir del estado A al estado B. Por lo general, existen otras razones adicionales diferentes de las físicas, originadas por alguien cuya autoridad debe ser respetada por la persona que trata de resolver el problema. Por ejemplo, la gerencia especificó que el ensamble se efectúe en cierta área de la planta; en el problema del río, se ha especificado el uso de un puente.

En el problema del pan tostado que con anterioridad mencionamos se decidió que el calor se obtendrá por medio de la electricidad. Nos referimos a todas estas cosas, físicas o de cualquier otra índole como son las restricciones. Este es un punto de vista simplificado de una restricción, pero es suficiente por ahora; sin embargo, en el capítulo subsiguiente discutiremos con mayor amplitud este concepto.

En cualquier problema existen métodos alternativos para lograr la transformación del estado A al B; pero en cualquier caso, las características comunes que citamos a continuación, tienen efectos importantes en la solución de los problemas:

1. El número de soluciones elegibles es, por io general, muy grande o infinito.
2. Todas las soluciones posibles de un problema práctico raras veces son obvias desde el principie; de hecho, es poco frecuente que todas las

T

soluciones posibles para un problema sean conocidas, aun después de una **investigación** considerable.

3. Estas soluciones alternativas no son igualmente deseables, ya que-se **fcúsca** la solución preferible, siendo para ello necesario un proceso de selec-¿ftSn y de decisión; así, la existencia de métodos con diferentes grados de **«preferencia** significa que resulta fructífera la búsqueda de soluciones alternativas, antes de elegir una. A partir de aquí, la base de preferencias se •• **denominará** ***criterio,*** el cual en muchos problemas en el mundo de los i **negocios,** suele ser la ganancia obtenida, la que permite en la inversión **elegir** entre las soluciones alternativas. En términos generales, el método **buscado** es aquél que maximiza la ganancia en la inversión de tiempo, **dinerp** y otros recursos.

4. La ventaja relativa de soluciones alternativas de un problema, raramente es evidente ya que usualmente deben efectuarse investigaciones que comprendan la búsqueda de datos, mediciones y cálculos para proporcionar estimaciones satisfactorias de la ventaja relativa de las soluciones y, aún **después** de una ardua investigación, persiste la duda respecto a esta ventaja **relativa.**

i El número de veces que la persona o el objeto va del estado A al ^**estado** B se transforma en una característica significante de un problema, ^**Cuando** como criterio se emplea el costo ***total*** derivado del costo de llegar **.v» crear** y usar una solución alternativa. Por ejemplo, son datos significan-¡ **tes el** número de veces que va a cruzarse el río, o el número de auto-, **móviles** por ensamblar, ya que si el río se va a cruzar una sola vez en ;ı***m puente** no es la alternativa que minimice el costo **o** el tiempo totales, **o que** maximice la ganancia en la inversión: pero si se espera que millones **de** personas crucen el río por el punto dado, es obvio que un bote de i iremos no es el método preferido con respecto a estos criterios. El mismo razonamiento puede aplicarse a todos los casos en los cuales rige el criterio **m costo** total, siendo entonces más apropiado tener diferentes soluciones ;fj«on respecto al costo, a medida que varía el número de repeticiones.

-El deseo de maximizar la ganancia en la inversión o minimizar el costo *"total* tiene un segundo efecto importante, pues el costo del tiempo y otros ^ **JObttrsos** empleados para llegar a la solución final de un problema práctico, **Wpresenta** parte de la inversión necesaria para esta solución y, con fre-**®hencia,** este costo es la mayor parte de la inversión. Así, a medida que un **«%eniero** continúa trabajando en un problema, la inversión se incrementa L continuamente, como se indica en la curva A de la figura 1. Al mismo **% tiempo,** al continuar la búsqueda de mejores alternativas, se alcanza un ftonto en el que es más difícil encontrar soluciones adicionales y donde «• productividad empieza **a** disminuir, tal y como se indica por el punto de "flexión en la curva B de la figura 1; representando dicha curva el valor ***u esperado*** de las ideas generadas como una función del tiempo acumulativo dedicado al problema.

Consecuentemente, mientras continúa la búsqueda de mejores métodos, se alcanza un punto en el tiempo donde no es probable que se encuentren mejores soluciones que justifiquen la inversión adicional de tiempo y esfuerzo. Es este punto, T_j, en la figura 1, el aumento en la calidad de las soluciones se equilibra con el aumento en el costo de buscarlas," por lo tanto, existe un punto en el cual se maximiza la ganancia en la inversión; más allá del cual se *espera* que disminuya la ganancia, debido al costo

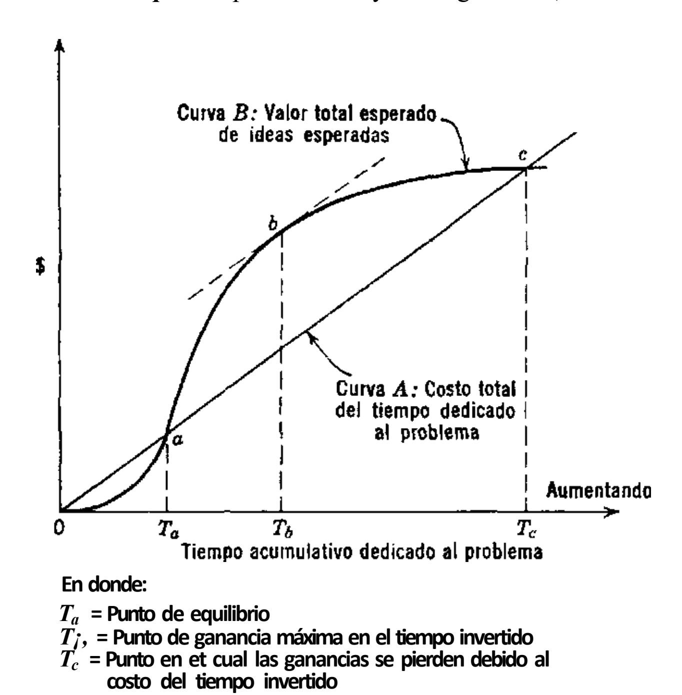


Figura 1. Representación geométrica de las relaciones entre el costo (curva A) y el valor (curva B) del tiempo dedicado a un problema, en función del tiempo empleado.

acumulado por la continuada atención al problema y a la, por lo general, decreciente productividad de soluciones no concebidas aún.

De acuerdo con esto, siempre que se emplee el criterio antes mencionado, existe una cantidad óptima de dinero y tiempo que han de gastarse; sin embargo, este gasto óptimo es dificil de estimar satisfactoriamente, siendo usual que se fijen, de manera arbitraria, la cantidad por invertir y la fecha de la solución final del problema.

Existen dos razones por las cuales un problema no es resuelto en el sentido cabal de la palabra, es decir, no se encuentra una respuesta correcta o perfecta; primera: el tiempo requerido para lograr esto sería mayor que la vida del problema en sí, por lo menos para la mayoría de los problemas en la industria; segunda: invariablemente, no es económico el intento de encontrar la solución perfecta, debido a la situación

^aficionada antes; es decir, resulta más económico dirigir los esfuerzos * **hacia** otros problemas que requieren solución, antes que seguir tratando *te¡ encontrar la solución perfecta al problema dado.

au Además, en la "solución" de problemas no existe la intención de buscar **¡basta** que se encuentre la solución ideal, ni tampoco se espera encontrarla, ni e^te la posibilidad de reconocerla como tal en caso de encontrarla. "Wpj- el contrario, la idea que se persigue es el intento de progresar ***hacia*** 'Si'Solución ideal, buscando continuamente soluciones mejores hasta que no **parezca** productivo continuar con la búsqueda.

jferi conclusión, un problema posee las siguientes características:

!jjjj^f. Dos estados concretos llamados A y B, y el deseo de alcanzar una o Hís veces el estado B, a partir del A.
¡**ÍÍ. Ciertos eventos que deben ocurrir para lograr la transformación de

.oíi3. Más de un método posible (y probablemente muchos) de lograr esta transformación.
4. Preferencia variable hacia estos métodos.
^ 5. Un cierto periodo durante el cual ha de obtenerse una solución.

Jjíl problema 110 existiría si todas las alternativas y su conveniencia rela-J§va se conocieran desde un principio; pero, por lo general, lo anterior está muy lejos de ser verdad, ya que aun cuando se haya dedicado una gran atención al problema, se debe decidir entre un número menor de alternativas al que en realidad existe, y la selección ha de hacerse basándose en un conocimiento imperfecto de la conveniencia relativa de cada una de las alternativas.

.«•jBÍ..1 •'

¿^procedimiento general para la solución de problemas

m El procedimiento básico para la solución de problemas se puede dis-Jjffiguir en tres fases diferentes, en lo que a secuencia y funcionabilidad se infiere: una fase de definición, una fase de búsqueda y una fase de decisión. **Específicamente:**

proceso de definición **que consiste en determinar las características del pro-,'blema, es decir:**

***ÍIO'.* ..**

a) Las especificaciones de los estados A y B. -
b) **Las restricciones.**
c) El criterio.
fii dj El número de repeticiones.
tf<ic) El límite de tiempo.

J, Lo anterior constituye una descripción de los datos, o las limitaciones dentro de i,.'|ue debe operar el analista, y muy especialmente en aquellas de carácter '^•Obligatorio.

Hfí® *proceso de búsqueda* implica un escrutinio respecto a soluciones alternativas; É tes decir, los diferentes métodos de lograr la transformación del estado A en el B.

Este proceso está caracterizado por una investigación, una síntesis, una cierta dosis de inventiva o, por un elemento aleatorio.

3. *El proceso de decisión* consiste en la evaluación de las alternativas obtenidas para después elegir basándose en el criterio usado, pudiendo apreciarse que es un proceso de eliminación.

En la práctica, las anteriores fases del proceso para la solución de problemas pueden tener muchos puntos en común; siendo frecuente la repetición del ciclo antes de que pueda alcanzarse una solución satisfactoria.

El problema del estudiante rico. Ante nosotros tenemos el problema de un bachiller avanzado, próximo a la expulsión, que sin dinero y taciturno desea transformarse en un potentado: ¿Cómo podría formularse su problema?

Estado A: El bachiller próximo a ser expulsado; cansado, hambriento y sediento.

Estado B: El bachiller, instalado permanente y confortablemente en su propiedad, disponiendo de una gran cantidad de secretarias, cocineros y sirvientes, con automóviles deportivos de varios estilos, alberca, avión, campo de golf y otros lujos.

Criterio: Tiempo, costo y privaciones necesarias para alcanzar los objetivos.

Límite de tiempo para obtener una solución: La fecha en la que el centro de estudios notifica la expulsión.

Restricciones: No ir a parar a la cárcel.

En este caso, la búsqueda de soluciones alternativas, no debe exceder los limites de la imaginación.

Aplicación de este proceso para la solución de problemas

Los enfoques a la solución de problemas y al diseño recomendados usualmente por libros de texto y encontrados comúnmente en la práctica, se caracterizan por lo vago y arduos que son, mientras que los procedimientos tradicionales manifiestan dos deficiencias notables, a saber:

1. En ocasiones la persona encargada de resolver el problema no visualiza la naturaleza real del mismo, debido principalmente a su enajenación con respecto a la actual solución del problema.
2. Frecuentemente la solución propuesta es tan sólo un remedio de la solución presente, cuando en realidad es necesario y posible un cambio radical. Esto resulta como una consecuencia de abstraerse con la solución presente y de no buscar, activa y efectivamente, otras soluciones.

Son estas las fallas que han hecho que se despierte un interés en el tema de los métodos para la solución de problemas, tal y como lo demuestran los artículos, trabajos, discusiones y la promoción de procedimientos formales para la solución de problemas dentro de varias compañías de importancia. Por ejemplo, la General Motors Corporation recomienda el procedimiento siguiente:

1. Determinar la naturaleza del problema por resolver, o el objetivo deseado.
2. Estudiar las condiciones; es decir, las causas y efectos relacionados con el problema.
3. Planear todas las soluciones posibles.
4. Evaluar estas soluciones posibles.
5. Recomendar la acción que debe tomarse.
6. Vigilar para asegurarse que esa acción ha sido tomada.
7. Comprobar los resultados para asegurarse que el problema ha sido eliminado y el objetivo alcanzado.

Ellos aseguran, con respecto a este procedimiento, que:

Este plan detallado paso por paso asegura mejores resultados porque *a)* pone énfasis en el análisis del problema como una base para la investigación, *b)* estimula la búsqueda de todas las soluciones posibles, *c)* asegura la evaluación de cada sistema posible de resolver un problema, tendiendo hacia la solución más efectiva y. económica, *y d)* requiere de una comprobación de resultados para asegurar que la acción correctiva propuesta eliminó el problema o logró el objetivo deseado.[1]

La General Electric Corporation recomienda el procedimiento siguiente:

1. Identificación: identifique los problemas no resueltos que existan a su alrededor.
2. Definición: determine cuál es el problema específico que usted pueda intentar resolver; debiendo decidirse qué parte del problema se va a resolver, las suposiciones que pueden hacerse y los resultados específicos que se desean. En esta parte usted realiza su propia investigación y establece las especificaciones de la solución.
3. Búsqueda de los métodos: use su imaginación creativa para escoger los métodos que puedan ser usados para encontrar la solución deseada.
4. Evaluación de métodos: evalúe los métodos considerados por medio del análisis, experimentación y pruebas.
5. Selección de los métodos: compare sus evaluaciones y escoja el método más apropiado.
6. Solución preliminar o diseño: haga un diseño preliminar usando el método escogido.
7. Interpretación de resultados: como una comprobación interprete los resultados del diseño preliminar antes de completar el diseño o solución.
8. La solución detallada o diseño: de acuerdo con su interpretación de los resultados efectúe las observaciones posteriores que sean necesarias.

Con respecto a este procedimiento, ellos dicen:

"Para cualquier ingeniero es de gran importancia disponer de un método co-Wecto para la solución de problemas de ingeniería, siendo el anterior un método formalizado que consiste de los 8 pasos básicos necesarios para la solución de cualquier problema".[2]

En el Western Electric Corporation Engineering Magazine[3] se describe un procedimiento similar; pero, aun cuando todos estos procedimientos

[1] Con permiso de R. D. McLandress, "Methods Engineering for More Effective and Economical Use of Manpower", *General Motors Engineering Journal,* General Motors Corporation, noviembre-diciembre de 1953.

[2] Con autorización de L. W. Warzecha, "New Course Emphasizes Unique Problem Approach", *General Electric Review,* septiembre de 1954.

[3] Robert F. Brewer y James A. Hosford, "Designing Automatic Machines", *The Western Electric Engineer,* Vol. I, No. 1, enero de 1957.

concuerdan en cuanto a la necesidad de definir cuidadosamente el problema, así como de realizar una efectiva y completa investigación de soluciones alternativas, en la práctica este aspecto suele descuidarse.

Una investigación sobre la práctica en la industria indica una creencia general en la existencia de un procedimiento particular para la solución de problemas que ***a largo plazo*** produce resultados superiores, tanto en la calidad de las soluciones como en el costo de obtención de las mismas, siendo cierto que el peor de los procedimientos produciría una solución aceptable, ya que en la generación de las ideas existe siempre un elemento aleatorio.

Además, el uso de un método óptimo no garantiza que todas las soluciones finales sean superiores a las obtenidas usando procedimientos inferiores, ya que la diferencia estriba en la ***probabilidad*** de obtener resultados superiores, de tal manera que la ganancia está en el rendimiento, ***a largo plazo,*** del diseñador.

Tanto los teóricos en campos tales como solución de problemas, innovación, inventiva y toma de decisiones, así como las personas de una gran experiencia, sostienen que existe un procedimiento preferente y superior para la solución de problemas, y a continuación describimos dicho procedimiento en función de lo conocido hasta hoy. Al presentarlo, se supone que lo que se intenta es el rendimiento óptimo en lo que se refiere a la solución final y a la manera de obtenerla.

EL PROCESO DE DISEÑO

Los problemas a los que por lo común se enfrentan los ingenieros han sido especificados exactamente como se indicó en los primeros párrafos de este capítulo.

El proceso que se describirá para resolver estos problemas y al cual nos referiremos en adelante como el proceso de diseño,[4] se diferencia tan sólo en pequeños aspectos a lo antes mencionado. El proceso de diseño se relaciona con la obtención de los hechos, con el proceso de meditar, con la toma de decisiones y con otras fases de las actividades en las que un diseñador se ve envuelto al buscar una solución por él especificada. Por consiguiente, el proceso de diseño es la metodología general del diseñador para la solución de problemas.

El proceso de diseño difiere en dos conceptos del proceso general para la solución de problemas de donde deriva. En el proceso de diseño se sugiere que la definición del problema se ejecute en dos pasos diferentes a saber: una amplia formulación del problema ***libre de detalles,*** seguida de un análisis ***detallado*** del mismo. Se recomienda hacer la definición del problema en dos pasos separados, con el fin de estimular al diseñador para adoptar una perspectiva amplia del problema, ***antes*** de entrar en

[4] La palabra diseño proviene del latín *designare,* que significa indicar el camino, lo cual describe en realidad el proceso que se está efectuando.

detalles. El segundo aspecto en que difieren los dos procesos, es la inclusión de la fase de especificación hecha con el propósito de comunicar la solución para permitir su aplicación.[5] El resultado es el siguiente procedimiento de diseño, que consta de 5 fases:

Formulación del problema.
Análisis del problema.
Búsqueda de alternativas.
Evaluación de las alternativas.
Especificación de la solución preferida.

El mismo procedimiento básico de diseño se aplica, así se trate de un puente, una herramienta de producción, una lavadora de trastos automática, una refinería de minerales, una máquina de propulsión a chorro, una planta de manufactura, o un sistema de manejo de materiales. La definición y alcance de cada una de estas fases se muestran en la tabla 1, discutiéndose en detalle en los capítulos siguientes.

TABLA 1

Descripción del proceso de diseño

Fases del proceso de diseño	Forma en que este *proceso* puede aplicarse un problema de ensamble
I. FORMULACION DEL PROBLEMA	
Una descripción *breve y general* de las características del problema, *libre de detalles y restricciones,* incluyendo cuando menos: 1. Los estados A y B y quizás, 2. El criterio o criterios principales, 3. El volumen,* y 4. El límite de tiempo.	**Diseñar un método de un plazo aproximado de 3 semanas, para ensamblar 15,000 relojes del modelo X, a partir de sus piezas componentes, de tal manera que se minimice el costo total.**
II. ANALISIS DEL PROBLEMA	
Determinación *detallada* de las características del problema, *incluyendo las restricciones.* Esta fase se refiert principalmente a las especificaciones de los estados A y B, de los criterios y su importancia relativa, así como como de las restricciones. Se caracteriza por la obtención, investigación,	**El análisis de este problema incluiría: la determinación de las especificaciones de las piezas componentes y del ensamble completo. Determinación de los criterios específicos que se usarán, y de su importancia relativa, tales como el costo de instalación y operación del método propuesto, la fatiga, el esfuerzo, la mo-**

[5] La aplicación, tal y como se usará a partir de aquí, se refiere a la adopción, creación y al uso adecuado del diseño final.

*** El volumen, llamado antes número de repeticiones, se refiere, por ejemplo, al número de automóviles que serán fabricados, al uso esperado de cierta carretera, al esperado número de clientes de una planta de energía.**

TABLA 1 *(continuación)*

Fases del proceso de diseño	Forma en que este proceso puede aplicarse a un problema de ensamble
aclaración y análisis de los hechos relacionados con lo arriba mencionado.	notonía y el tiempo de aprendizaje del empleado, etc. Determinación de las restricciones sobre el método de ensamble; por ejemplo, algunas piezas deben ensamblarse antes que otras, habiéndose decidido previamente y que esta actividad de ensamble se efectúe en cierta área de la planta en una línea de ensamble.
[II. BUSQUEDA DE ALTERNATIVAS La búsqueda de soluciones alternativas.	El diseñador busca una variedad de procedimientos posibles de ensamble, de distribución de los lugares de trabajo, de secuencia de eventos, de tipo de equipo, etc., basándose en sus propias ideas y en otras fuentes de información.
IV. EVALUACION DE ALTERNATIVAS La evaluación de soluciones alternativas como preparación para tomar una decisión con base en los criterios establecidos.	Aquí, los costos de la inversión (costos de instalación, capital, entrenamiento, etc.) y los costos de operación (costos del equipo en operación, mano de obra etc.), se estiman para las diferentes proposiciones.
V. ESPECIFICACION DE LA SOLUCION PREFERIDA Delineación de las especificaciones *y* de las características de funcionamiento del método seleccionado.	En esta fase se registran los detalles del método seleccionado, para facilitar su instalación y control (la distribución, procedimientos y equipo).

Es posible que estas fases se superpongan así; por ejemplo, se pueden concebir varias soluciones durante e! período de formulación y aclaración. De manera similar, aun cuando posteriormente la generación de ideas sea la actividad predominante, no se excluye la posibilidad de reformular o de aclarar posteriormente el problema.

EJERCICIOS

1, Identifique los estados *A* y *B* para cada uno de los problemas siguientes, haciendo las suposiciones que considere necesarias.

a) Hacer un sujeta-papeles.
b) Inspección de tubos electrónicos.
c) Construcción de una casa.
d) Viaje a la luna.
e) El problema de escalar una montaña.

2. Describa algunos criterios que pudieran ser aplicados para escoger entre las soluciones alternativas para cada uno de los problemas mencionados en 1.

Formulación del problema

¿Recomendaría usted que se trate de resolver ur'pnroblema sin conocer realmente en qué consiste? Claro que no, y sin ellba^rgo, esto es lo que hacemos con frecuencia en detrimento de nuestf0 'íncdimiento en diseños a largo plazo; ahora bien, el propósito de la fase & formulación es el de maximizar la probabilidad de aislar y definir satisfacVi^amente el problema que se tiene entre manos, y de que deberá hacerse i un principio, yaque el tiempo que se dedique a la formulación del es, cuando menos, tan productivo como el dedicado a cualquier otr£ las® fases esenciales en la solución de problemas.

Un caso particular

La gerencia de una organización que product di:Estribuye forrajes y fertilizantes está preocupada por el costo relativanl(tlt9·,e ajt0 ¿gj manej0 y almacenamiento de sus productos, y para tfata' dile encontrarle una solución a este problema, se utilizaron los servas de un ingeniero, esperando con ello encontrar una reducción imponte en los costos.

Por lo general los materiales se empacan en sacos se almacenan usando el método descrito en la figura 2.

Este ejemplo será una ilustración para la dísc^ón o que presentamos a continuación.

Formulación de este problema. Ante todo, de^ei, te^nerse presente que la formulación implica una descripción ***breve*** y ***S\TCfal*** de las características del problema, sin tomar en cuenta en ella los Pajuiles y restricciones; es muy importante que esto se realice al iniciar Ja (qjcoción del problema, tratándose de evitar las influencias que sobre el iPS^ererro tengan los detalles, restricciones y la solución hasta ahora lograda De}gebido al hecho de

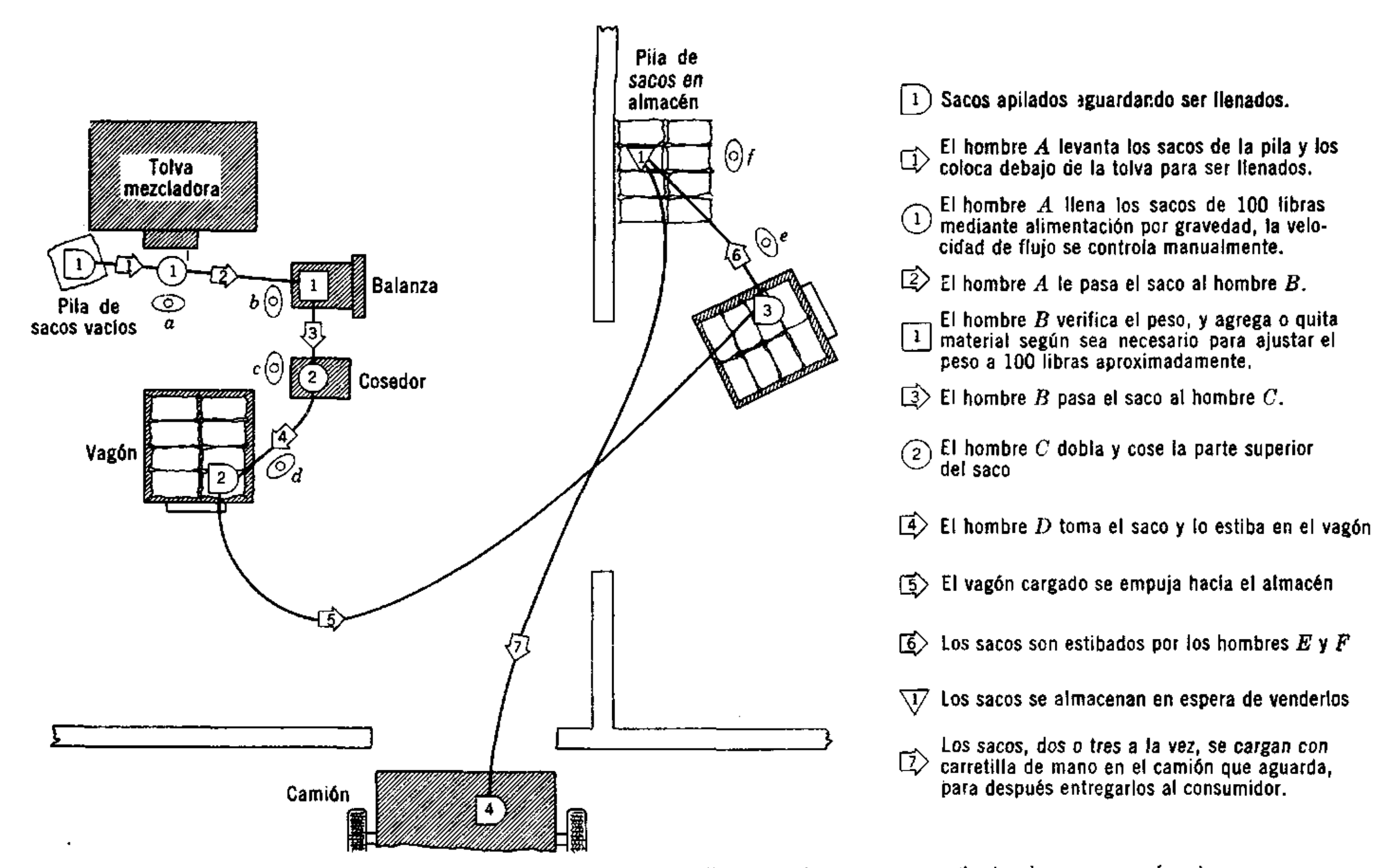


Figura 2. Diagrama de flujo del método actual de llenado, almacenaje y estibado de sacos con forrajes.

que esta etapa requiere relativamente poco tiempo, suele dársele poca importancia, cuando en realidad es definitiva.

En esencia, la formulación del problema requiere la definición de los estados A y B, de los criterios principales, del volumen y del límite de tiempo. En la práctica, raramente es necesario o común un enunciado formal que incluya todas estas características; lo esencial es la identificación de los estados A y B, misma que puede ser verbal o diagramática.

El problema descrito del sistema de distribución de forrajes puede verso de varias maneras; por ejemplo, encontrar dentro de un período ***X,*** el método que maximice la ganancia para transportar el máximo de toneladas de forraje desde:

1. ***El mezclador,*** hasta el empacado en sacos acomodados dentro del ***almacén,*** llenándolos, pesándolos, cosiéndolos y apilándolos; o
2. ***El mezclador hasta el empacado en sacos dentro del almacén;*** o
3. ***El mezclador, a sacos en el camión repartidor;*** o
4. ***El mezclador, al camión*** repartidor; o
5. ***El mezclador, al medio de transportación;*** o
6. ***El mezclador, a los silos de almacenamiento del granjero;*** o
7. ***De los silos de almacenamiento de los ingredientes del [orraje, a los silos de almacenamiento del granjero; o***
8. ***Del almacén al granjero;*** o
9. ***Del productor al consumidor.***

Existen todavía otras formulaciones posibles del problema, más amplias, más estrechas, o cualquiera comprendida entre ellas.

La formulación 1 no es aconsejable, ya que incluye las restricciones de "llenado, pesado, cosido apilado", las cuales deberán excluirse de la formulación del problema. Además, deberá notarse que estas restricciones no son más que características particulares de la solución actual del problema; aunque, desgraciadamente, esta es la manera en que con frecuencia enfocaríamos un problema como éste, aceptando injustificadamente numerosas características de la solución usual como esenciales, y procediendo como si fueran inalterables; así se excluyen muchos cambios provechosos que de otra manera se hubieran introducido; uno de los objetivos principales del proceso de diseño aquí descrito es el de vencer esta tendencia.

Aun cuando las otras formulaciones del problema no incluyen restricciones, no son igualmente preferibles o ventajosas. Esta colección de formulaciones, cada una con consecuencias muy diferentes, trae a colación un tema al cual nos referiremos de aquí en adelante como la amplitud de la formulación del problema.

Amplitud de la formulación del problema

El término amplitud se usará con respecto a la formulación del problema para indicar 1) el grado de especificación supuesto de los estados

A y B, al iniciarse el proceso de diseño y 2) la parte del problema total que el diseñador atacará personalmente. El grado de especificación supuesto de los estados A y B, al iniciarse el proceso de diseño, determina el número y variedad de soluciones alternativas a disposición del diseñador. En las formulaciones 1, 2 y 3 del problema de forrajes, se supone que en el estado B, el forraje está dentro de sacos; sin embargo, en la formulación 4 sólo se especifica el "camión", ***lo cual expone el problema a una gama de posibilidades*** que no incluye a los sacos, y en la formulación 5 solamente se especifica "medio de transportación", lo que excluye al camión. Esta tendencia hacia una definición menos específica de los estados A y B, continúa hasta que se especifiquen solamente el productor y el consumidor, lo cual deja libre el camino para una amplia variedad de métodos de manejó, modos de transportación, tipos y tamaños de paquetes, etc. Se sugiere que al formular un problema, ***el diseñador suponga las especificaciones de los estados A y B, tan generales como la economía y los límites de organización lo permitan.*** No observar esta política, traerá como resultado que el diseñador no considere posibilidades realmente ventajosas, porque en el planteo de su problema ha aceptado injustificadamente ciertas especificaciones de los estados A y B.

La amplitud de la formulación del problema lleva consigo la asignación de la parte del problema que resolverá el propio diseñador; por ejemplo, en las formulaciones 1 y 2 del problema de forrajes, el estado B llega tan sólo hasta los sacos apilados en el almacén; mientras que en la formulación 3, se amplía hasta el camión repartidor y en la formulación 6, al consumidor; por su parte, el estado A se amplía en la formulación 7. De esta manera, a medida que los estados A y B se amplían para incluir una mayor parte del problema total; el problema de formulación se hace más amplio. (En muchas ocasiones se puede considerar que el problema total sea el de cómo maximizar la ganancia en una inversión.) Un problema del diseñador puede consistir en una sola operación de producción, o en un sistema completo de producción, que abarque todo lo que acontece entre la materia prima y el consumidor final. ***Por lo general, un problema debe formularse de tal manera que se incluya tanto del problema total como de la economía de la situación y los límites de organización.*** Es decir, cuanto más se divida un problema total en sus partes, para ser atacadas independientemente, es probable que la solución total o sistema, sea menos óptima. Si en el problema de forrajes el llenado de los sacos, la transportación hacia la bodega y posterior estibación, la carga de camiones, el transporte al granjero y la descarga de camiones, se tratan todos estos aspectos como problemas independientes, es muy probable que el resultado diste mucho de ser el óptimo; y seguramente al tratar este problema en una forma más amplia, se obtendría de un sistema superior, con un costo total mucho menor.

De aquí en adelante, la especificación que el diseñador considere que se le esté imponiendo erróneamente será llamada una especificación ficticia; sin embargo, existe la posibilidad de que, sin indicación explícita, el

diseñador, automática e injustificadamente, suponga que el estado B sea los sacos apilados en el almacén, y que complete el proceso entero de diseño sin darse cuenta de que es él quien limita el problema en lo que respecta a los efectos perjudiciales de las especificaciones ficticias, por excluir alternativas ventajosas mediante la subdivisión del problema, en un aspecto del que ya se hizo mención con anterioridad.

Si el ingeniero encargado del proyecto logra liberarse de sus limitaciones, tiene la posibilidad de manejar los forrajes "a granel"; asimismo, si logra una formulación del problema de la entrega al granjero, abre la posibilidad de llenar el forraje directamente y "a granel" a los silos. La experiencia ha demostrado, a este respecto, la ventaja de este método, ya que después de muchos años de usar laboriosos métodos de manejo, los distribuidores han optado por entregar forrajes a los silos de almacenamiento del granjero, descargándolos mediante bandas o dispositivos neumáticos, desde los grandes camiones que los transportan a granel, logrando con esto un ahorro substancial, tanto para el productor como para el consumidor.

¿Con cuánta amplitud puede el diseñador formular un problema?

La amplitud de formulación de un problema es una decisión que debe tomar el diseñador, ya que su punto de vista es la manera en que ha captado el problema, bastando a veces tan sólo una serie de razonamientos o simples anotaciones. Puesto que por naturaleza la formulación es flexible, el diseñador puede y debe formular el problema ampliamente:

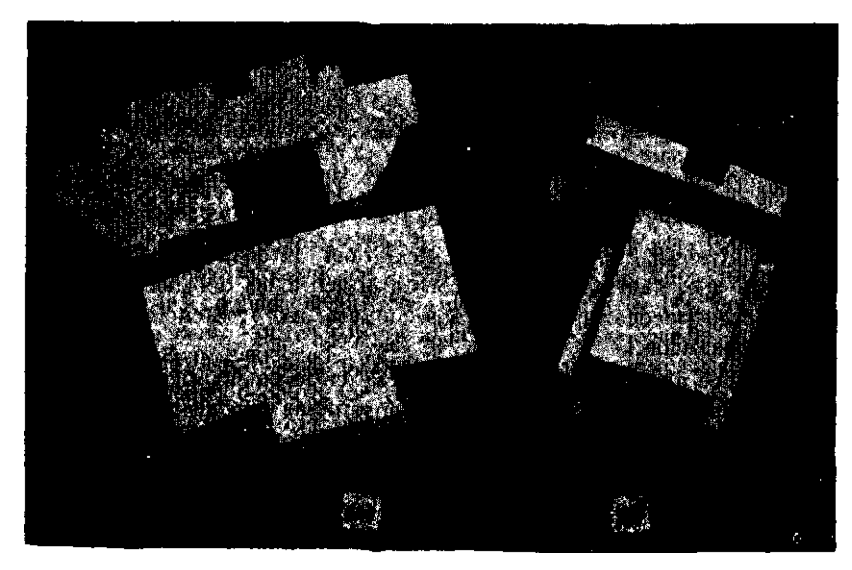


Figura 3. Partes componentes (o), y la protección ensamblada (b), para evitar que el aislante en la puerta del refrigerador ensucie el mecanismo del pestillo.

siendo esto una prerrogativa del diseñador, cuya utilización puede resultarle bastante ventajosa. Asi, en el problema de los forrajes, corresponde al ingeniero visualizar el problema como "la transferencia del forraje del productor al consumidor".

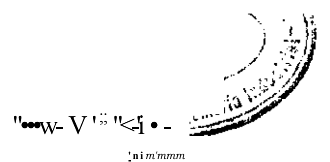
Nótese, sin embargo, que una cosa es una formulación amplia y, otra, que el diseñador persista en llevar a cabo el resto del proceso de diseño con dicha formulación; pues proseguir con una formulación amplia frecuen-



Figura 4. Fase del engrapado en la operación de ensamble de las protecciones (por cortesía de la General Motors de Brasil).

teniente incluye un cambio en especificaciones, interfiriendo áreas de la organización que, naturalmente, no corresponden a las del diseñador; esto, por lo general, puede traer como consecuencia una resistencia y, además, falta de cooperación.

Consideremos ahora el problema al que se enfrenta un ingeniero, consistente en diseñar un método mejor para ensamblar protecciones de cartón complicadas, las cuales se colocarán subsecuentemente alrededor del mecanismo del pestillo dentro de las puertas de un refrigerador, para así evitar que el aislante en las puertas ensucie los mecanismos. Esta protección que aparece en la figura 3 ***b,*** se ensambla a partir de dos estampados de cartón con los dobleces marcados como los que aparecen en la figura 3a; en la operación de ensamble, primero se doblan varias de las orejas, y después las dos secciones se engrapan como se ilustra en la figura 4.



Por último, en una operación posterior, la protección ensamblada se engoma y coloca sobre el mecanismo del pestillo, dentro de la puerta del refrigerador, como se muestra en la figura 5.

Debe notarse que al ingeniero se le expone este problema mostrándole el método actual de ensamble de las protecciones, y como es lo usual, ***el problema no lo formula él, sitio que simplemente se le presenta la solución actual del problema.***

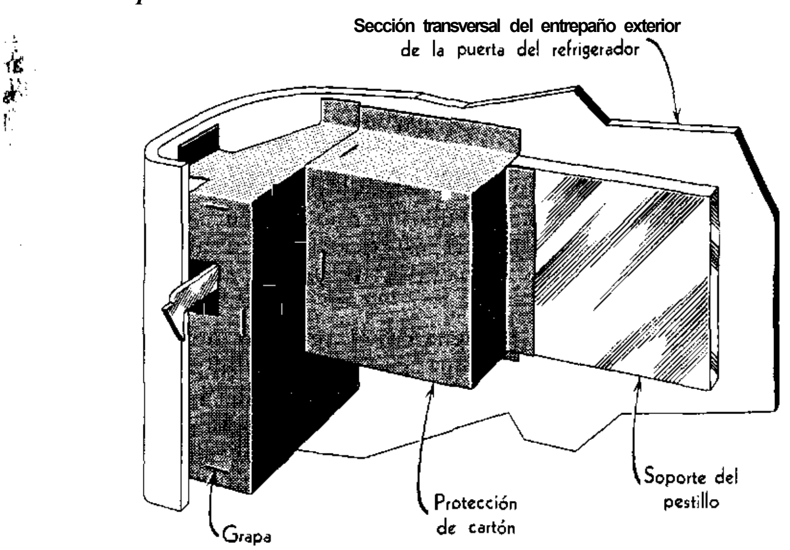


Figura 5. **La protección encolada se coloca sobre el mecanismo del pestillo dentro de la puerta del refrigerador (por cortesía de la General Motors del Brasil).**

Supóngase que el ingeniero formula este problema con el objeto de encontrar el método más económico para mantener el mecanismo del pestillo libre de material aislante, en lugar de tratar de encontrar el método más económico para ensamblar las protecciones de cartón especificadas. La primera es una formulación más amplia y permite usar muchos medios para mantener los mecanismos libres de material asilante, incluyendo el uso de aislante de hule espuma rígido, que no se deslice en el interior de la puerta, como ocurre con el aislante actual, utilizando para ello un adhesivo en el interior del entrepaño de la puerta para fijar el aislante usado actualmente, o el uso de protecciones de cartón menos complicadas y menos caras. Estas y otras muchas alternativas son claramente superiores al método dado al ingeniero.

Si el ingeniero elige continuar con la formulación más extensa, debe intentar modificar las especificaciones de la protección y quizá algunas de ,la puerta, pudiendo suceder que los diseñadores del producto no permitan que se hagan estas modificaciones. Esto es probable por múltiples razones, una de las cuales es que si existe la reticencia usual para empezar a

elaborar un nuevo producto, la gerencia se mostrará reacia a reconsiderar decisiones ya hechas; siendo conveniente que el diseñador continúe con su formulación amplia, cuando menos hasta este punto. Si tiene éxito en deshacerse de las protecciones de cartón actuales, probablemente se podría redondear una mejor solución, lo cual se le acreditaría. En caso contrario, él estará protegido cuando surja la pregunta "¿Por qué esta ridicula protección?"

Otro modo de autoprotección en una situación como ésta, es que el diseñador presente a la gerencia varias alternativas para poder escoger, entre las cuales deberá estar presente un método mejorado para ensamblar la protección actual, así como también varios de los mejores métodos para mantener el mecanismo del pestillo libre e independiente de material aislante.

Volvamos con el ingeniero encargado del problema de los forrajes: si él decide continuar con la formulación más amplia, pudiera ser necesario que tuviera que convencer a los responsables a abandonar el uso de los sacos, discutir asuntos de política de ventas, métodos de almacenaje, etc.

Pudiera ser que quienes le asignaron el proyecto tuvieran en mente algo diferente; quizá esperaban que dedicara su tiempo a mejorar el método de llenado, de ***verificación,*** de cosido ***y*** de transporte de los sacos. Así, un diseñador puede muy bien ser forzado a mantener una formulación muy estrecha del problema por resolver, aun cuando desde el punto de vista de la empresa fuera más productivo no proceder en esa forma.

El grado hasta el cual un diseñador es capaz y está justificado para ***mantener*** una formulación extensa de un problema, depende de los factores siguientes:

1. El alcance de sus responsabilidades. La capacidad oficial del diseñador es la determinante principal de las decisiones que está autorizado a objetar y a cambiar.

2. La situación económica. En general, cuanto menos importante es el problema para la empresa, desde un punto de vista económico, menores son las posibilidades que puedan ser investigadas justificadamente, salvo las especificaciones que puedan ser cambiadas; hay cosas que se deben aceptar "como son", debido a lo improductivo que resulta dedicarles atención. El volumen tiene una gran influencia a este respecto.

3. El límite arbitrario (si acaso existe) que se haya puesto al tiempo y al dinero que pueden ser dedicados al problema.

4. Circunstancias especiales. Por ejemplo, las personas involucradas en el problema pueden hacer que sea imposible poner en duda las decisiones tomadas previamente, aun cuando no estén justificadas por su organización deficiente.

Follas comunes al principio del proceso de diseño

Los problemas de la distribución de forrajes y del ensamble de la protección se plantearon a los ingenieros encargados, presentándoles las soluciones respectivas, con el encargo explícito o implícito de encontrar un método .mejor. ***Al ingeniero rara vez se le presenta el problema real;*** por el contrario, él debe intentar estudiar el diseño existente, y examinar la tradición y las opiniones de otros, para determinar cuál es en realidad el problema. Esto se hace difícil, no sólo por lo indefinido de los problemas, sino por la práctica, generalizada en las universidades, de presentar los problemas a los estudiantes en una forma pura e irreal, de tal manera que no están acostumbrados ni tienen la habilidad de identificar un problema en la "vida real". Estas dos situaciones hacen que el diseñador sea vulnerable al siguiente tipo de fallas:

Una falla que un diseñador debe procurar evitar cuando hace el enfoque de un problema, es la de resolver parcial o totalmente un problema ficticio innecesario, ya que en tal caso, el problema en sí, casi nunca requiere su atención.

Son ejemplos de problemas ficticios, el diseño de una parte componente que en realidad no se necesita, y el rediseño de una operación de manufactura que pudiera ser eliminada completamente.

La falla al buscar y definir activa y efectivamente un problema al iniciar el enfoque de la situación, sugiere un resultado como éste, con él subsecuente descrédito para el diseñador.

La segunda falla principal consiste en atacar la solución actual en lugar del problema mismo, ***ya que el diseño actual es simplemente una solución, entre muchas, del problema a resolver y la solución actual no es el problema; sin embargo, con frecuencia el diseñador ataca el diseño actual como si lo fuera.*** Nunca está por demás hacer hincapié respecto a la facilidad con que puede incurrirse en esta falla. Existe diferencia, crucial y sutil, entre empezar con la solución actual y trabajar en ella en un intento de eliminar las deficiencias, y empezar con la definición básica del problema y sintetizar una solución superior mediante el proceso de diseño. El último procedimiento es el principal factor en la obtención de un diseño más eficiente en períodos a largo plazo.

La mejor manera de evitar estas fallas consiste en concentrarse inicialmente en el planteo del problema, evitando temporalmente los detalles, las restricciones y la solución actual.

El punto de vista de la caja negra

Este útil y excepcional método de plantear un problema de diseño, lo llamaremos el "método de la caja negra". La solución de un problema Se visualiza como una caja negra de contenido desconocido y no especifi-

cado, con una entrada especificada (oslado A), una salida especificada lambién (estado B), y con criterios dados para evaluar el funcionamiento de la caja; en la figura 6 se muestra este punto de vista. Otros ejemplos de entradas son la pulpa de madera, ropas sucias, o energía eléctrica, con sus salidas respectivas: papel, ropas limpias y trabajo mecánico.

El método de la caja negra facilita la identificación adecuada de los estados A y B, a medida que se lorrnula el problema, pues es un truco visual especialmente útil para desviar de la solución actual la atención del diseñador; para obtener el beneficio máximo de este método, es iui-

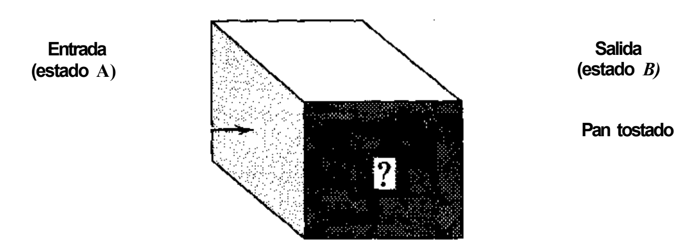


Figura 6. Formulación de un problema utilizando la caja negra . Problema: encontrar, dentro de un período determinado, el contenido de la caja, que realice la conversión Indicada, de la manera preferida.

portante que el diseñador permita que la caja negra aleje de. su nienlc la solución actual, y que él no haga, por el momento, suposiciones con respecto a cuál será la solución final, o partes de ella. Probablemente nunca cambiará la frecuencia con la cual el ingeniero se enfrenta a un problema, familiarizándolo (si es que no lo está ya) con la solución actual. Entonces, corresponde al ingeniero joven desarrollar la habilidad para aislar efectivamente el problema, independientemente de este método de ataque, y así el concepto de la caja negra constituye un medio para desarrollar y aumentar esta habilidad.

Resumen

Antes de iniciar la solución de cualquier problema, el diseñador debe formularlo, debiendo estar seguro de que: 1) el problema merece su atención; 2) sea amplio su punto de vista con respecto al problema; 3) se eviten por el momento, los detalles y las restricciones; 4) sea cauto con los problemas ficticios; y 5) no se dedique a la solución actual del problema, ni confunda el problema con la solución.

Ordinariamente, estas cuestiones merecen más atención que la dedicada a esta fase, pues en la fase de formulación serán, por lo general, secundarias tanto la identificación de los criterios, como el volumen y el período de tiempo, los que pueden ser cosas rutinarias, según la naturaleza del problema, y requiriendo solamente que se les considere superficialmente

¿

Análisis del problema

Un caso concreto

Cierto fabricante de lavadoras está a punto de rediseñar la lavadora automática que se vende actualmente. La Gerencia ya ha decidido respecto a los valores máximos de costo de fabricación, dimensiones, tiempo del ciclo, peso, y los requisitos adicionales que se citarán a continuación: los planos deberán estar listos dentro de 6 meses, el volumen de ventas pronosticado es de 300,000 unidades. Un análisis de este problema, conforme a los datos anteriores, es como sigue:

Estado A: **Cierta cantidad de ropa sucia.**

Estado B: **La misma ropa en la que queda una cantidad minima especificada de inugre y humedad, limitando a un grado minimo también especificado el mal trato, encogimiento y desgaste.**

Criterios: **Ganancia en la inversión, o más específicamente, costo de manufactura, atracción para el cliente, costo de proveer las refacciones, vida del producto y facilidad de reparación, etc.**

Restricciones:

1. ***Debe*** **eliminarse la mugre, ya que se obtendrá ropa limpia a partir de ropa sucia.**
2. **El costo total de manufactura no puedo exceder de $125 dls.**
3. **La unidad *no puede* ser mayor de 30 pulgadas de ancho, 38 pulgadas de alto y 30 pulgadas de profundidad.**
4. **La unidad *no puede* pesar más de 250 libras.**
5. **El proceso de limpieza *debe* terminarse en 20 minutos, o menos.**
6. **La unidad *debe* operar a 60 ciclos y 110 voltios de C.A.**
7. **La unidad *debe* poder operarla el ama de casa con un mínimo de instrucciones.**
8. **La unidad *debe* estar a prueba de equivocaciones en su operación.**
9. **La unidad *debe* estar a prueba de accidentes ocasionados por las partes que estén al descubierto.**

Estas limitaciones' en las variables de la solución son las restricciones, pudiendo fijarse ***a pnori*** algunas variables, las que no podrán ser alteradas por el diseñador. Por ejemplo, en el problema de la lavadora se especificó que la fuente de energía fuera de 110 voltios, 60 ciclos; otras variables pueden ser alteradas por el diseñador, pero tan sólo dentro de un rango limitado. Por ejemplo, en el problema de la lavadora, el peso del producto final no ha de ser mayor de 250 libras, esto es, la variable está restringida a un rango que varía entre 0 y 250 libras.

Tipos de restricciones

1. Reales, las que se caracterizan por su naturaleza impositiva, y cuyo establecimiento no implica hipótesis alguna; de éstas, algunas se aceptan y otras se rechazan porque es necesario y/o productivo hacerlo así.
2. Ficticias. No son necesarias, y probablemente supuestas por el diseñador, sin razón alguna.

Restricciones reales, aceptadas. Es muy probable que el diseñdor acepte cuando menos algunas de las restricciones reales que le son impuestas. Esto sucedería en caso de que:

1. La restricción es, o al menos parece ser, una solución óptima, o casi óptima.

2. La restricción es una decisión aparentemente no óptima, pero no lo suficientemente mala como para que garantice el tiempo y esfuerzo necesarios para rebatirla.

En este caso, los beneficios que pudieran obtenerse ***si*** se lograra anular la especificación, no parecen justificar el costo de solicitar el cambio. Por ejemplo, pudiera ser que el diseñador de la lavadora considerase que no es económico producir las unidades en seis colores diferentes, pero que el costo aparente de convencer al departamento de ventas sea tal, que no le permite intentarlo. Lo más económico parece ser conformarse.

3. La restricción aparenta ser lo suficientemente mala para garantizar desviarse de ella, pero el diseñador reconoce que es tonto inclusive sugerir algo diferente a lo especificado. Esta situación es creada con frecuencia debido al comportamiento enérgico y en ocasiones arbitrario, de cierto personal ejecutivo relacionado con el problema.

4. El diseñador decide no desviarse de la restricción por razones personales aun cuando es productivo hacerlo.

5. El diseñador fracasó al intentar revocar la restricción.

Restricciones reales, no aceptadas. No todas las restricciones impuestas inicialmente son irrevocables, ya que no siempre son compatibles. En ciertas ocasiones el diseñador encuentra que no existe solución que las satis-

faga a todas, o que el costo de satisfacerlas sea prohibitivo. Entonces, es posible que, de todas las restricciones impuestas, algunas no se acepten porque sean decisiones subóptimas o incompatibles, o porque rechazarlas resulte productivo y en ocasiones inevitable.

Es un error creer que todas las especificaciones dadas por los estados ***A*** y ***B*** (las cuales determinan indirectamente las restricciones) y las especificaciones dadas para las soluciones (que se convierten en las restricciones), sean las mejores decisiones que pudieran haberse tomado y, por Prosiguiente, sean las óptimas desde el punto de vista del criterio global.

e hecho, casi todas las decisiones son subóptimas en un mayor o menor grado, cosa que no es de sorprender si analizamos los siguientes puntos:

1. Los elementos de azar que intervienen en la búsqueda de soluciones alternativas y el hecho de que la mayoría de los que toman las decisiones, casi siempre disponen de poco tiempo para ello.
2. La importancia del papel desempeñado por el buen juicio al tomar decisiones en la vida diaria; pudiéndose cometer errores al no prever todas las consecuencias futuras.
3. El grado al cuál un problema se subdivide en muchos subproblemas relativamente independientes.
4. Las decisiones no siempre se toman con una base completamente objetiva y racional.
5. En ocasiones, al ingeniero se le imponen restricciones intuitivas, más bien que "efectivas".

En vista de estas circunstancias, suele ser inevitable que el diseñador ocasionalmente encuentre un conjunto de restricciones, que no puede satisfacer, al menos con una sola solución.[1]

Mucho más probable que la situación anterior es aquélla en la cual se pueden satisfacer todas las restricciones, pero únicamente a un costo innecesario y posiblemente prohibitivo. El diseñador encuentra con frecuencia que es muy costoso satisfacer una especificación subóptima, establecida por alguien que está en una posición más alta que él en la jerarquía de la organización. Por ejemplo, en el problema de la lavadora es posible diseñar un método para lavar todos los tipos posibles de telas, pero el costo involucrado puede ser mayor que el aumento en las ventas. En situaciones de este tipo, las cuales son bastante frecuentes, el diseñador debe estudiar la situación, aplicar su mejor criterio y escoger de entre un número de cursos de acción posibles, debiendo decidir si la restricción en cuestión puede ignorarse bajo las circunstancias presentes, si puede desviarse de ella en un menor grado, o si es productivo y posible buscar y obtener su revocación, y en caso de lograrlo, hasta dónde deberá llegar en su intento por lograr el cambio. Estas y otras decisiones que el diseñador

^ En términos del espacio de la solución, suele ocurrir que se tengan dos (o más) regiones sin puntos comunes, en cuyo caso no es posible la solución común.

y ***B,*** a las restricciones y a los criterios. De hecho, en esta fase, úaicamente se les resta atención particular a los criterios, cuando alguno o varios de ellos son de importancia inusitada, ya que en este caso afectan el tipo de soluciones posibles que serán enfatizadas durante "la búsquedi de alternativas". Por ejemplo, uno de los principales argumentos de ventus para un nuevo modelo de escopeta, será su alta calidad y, por consiguiente, un criterio de importancia extrema en el diseño del arma. Debido a esto el diseñador pondrá cuidado especial en la elección de materiales, mecanismos y acabados. En la mayoría de los casos, los criterios son iaplícitos y rutinarios.

Esta fase del proceso de diseño implica una cantidad considerable de "recopilación de hechos", especialmente con respecto a las caacteristicas de los estados ***A y B,*** y las restricciones. También implica el análisis y desmenuzamiento de los "hechos", de tal manera que cuando el diseñador termine con el análisis del problema, habrá establecido los límites dentro de los cuales trabajará. En otras palabras, habrá determinado lo que es dado, lo que es fijo, lo que a su criterio "debe ser". Lo más importante es que él habrá determinado todo lo que le es permitido y lo qie se espera que especifique a medida que progresa, y de esta manera hibrá determinado las variables que está autorizado a alterar, utilizando lis áreas de posibilidad dentro de las cuales él es libre de elegir. El objetiv» de prestar una atención considerable a las restricciones no es meramentt saber qué es lo que no se puede hacer, sino de sacar a luz lo que es fijo, de tal manera que el diseñador pueda proceder en la suposición de que las variables restantes pueden ser alteradas. El propósito último es, entjnces, el de averiguar en qué aspectos él ***no*** está restringido.

Al terminar esta fase, el diseñador deberá haberse liberado al máximo de las especificaciones establecidas previamente, siempre y cuando esto sea justificado económicamente. El diseñador deberá haber analizado la validez de las restricciones que le han sido impuestas, investigando k rigidez de las no válidas e intentado revocar algunas si esto fuera posible,unto en sentido económico como de organización. Además, deberá halerse librado de las restricciones ficticias, que no son más que características particulares de la solución actual del problema, debiendo prestar atención a la eliminación de la tendencia de aceptar lo que "es" como si "lebiera ser". El peligro consiste en autorrestringirse en demasía, con el resultado probable de excluir del análisis, injustificada y desafortuiadamente, a soluciones promisorias.

Recopilación de hechos

La recopilación de hechos mencionada antes, se refiere ala obtención de la información pertinente de las características del pablema; además de determinar las especificaciones, este proceso implica aprender sobre la naturaleza, el comportamiento y la interacción de ciertas variables que

intervienen en, o afectan a los estados ***A*** y ***B,*** los criterios, el volumen, las restricciones y las soluciones potenciales. Ejemplos de tales variables son los siguientes:

1. Datos pertinentes en un problema de diseño de un almacén, la variación esperada en el tamaño y tiempo de arribo de los embarques.
2. Datos pertinentes en un problema de diseño de una presa, la variación esperada en la precipitación pluvial.
3. Las relaciones entre la calidad de un producto y la demanda del consumidor.
4. La variación, a largo y a corto plazo, en la demanda de energía eléctrica en una comunidad.
5. La relación entre el espesor del aislante y la rapidez de pérdida de calor.

Entonces, el proceso de recopilar hechos puede muy bien consistir en algo más que consultar registros, manuales y otras fuentes de información; puede requerir la observación de fenómenos, analizar datos históricos, experimentación, muestrear la opinión y la reacción humanas y otras formas similares de obtención de información.

Al obtener información relativa al volumen, deben determinarse sus tendencias estacionales de aumento y disminución a otros tipos de ciclos, y sus variaciones fortuitas inherentes, pues el volumen raramente es estático. Es importante también determinar la "vida" esperada del problema en cuestión, por ejemplo, el tiempo esperado de la demanda del producto que está siendo diseñado. Por consiguiente, el diseñador debe obtener información futura, de personas bien calificadas, para hacer tales pronósticos.

El proceso de recopilación de hechos puede incluir también la obtención de la información relativa a la(s) solucion(es) presente(s) al problema sujetas a las precauciones que se mencionarán.

¿En dónde se adapta la solución actual a un problema?

En la mayoría de los casos el diseñador está demasiado familiarizado con la solución actual del problema; o si no lo está, al presentársele el problema, simultáneamente se le muestra la solución actual, lo que puede conducir a que su solución sea realmente un rediseño.

En algunos casos esta familiarización con la solución actual del problema puede resultar conveniente o desventajosa; por ejemplo:

1. Al valorar un problema para determinar si conviene rediseñarlo, es necesario determinar su ahorro potencial. Si se quiere estimar la inferioridad de la solución actual, con respecto a una alternativa, es necesario

y ***B,*** a las restricciones y a los criterios. De hecho, en esta fase, únicamente se les resta atención particular a los criterios, cuando alguno o varios de ellos son de importancia inusitada, ya que en este caso afectan el tipo de soluciones posibles que serán enfatizadas durante "la búsqueda de alternativas". Por ejemplo, uno de los principales argumentos de ventas para un nuevo modelo de escopeta, será su alta calidad y, por consiguiente, un criterio de importancia extrema en el diseño del arma. Debido a esto el diseñador pondrá cuidado especial en la elección de materiales, mecanismos y acabados. En la mayoría de los casos, los criterios son implícitos y rutinarios.

Esta fase del proceso de diseño implica una cantidad considerable de "recopilación de hechos", especialmente con respecto a las características de los estados ***A*** y ***B,*** y las restricciones. También implica el análisis y desmenuzamiento de los "hechos", de tal manera que cuando el diseñador termine con el análisis del problema, habrá establecido los límites dentro de los cuales trabajará. En otras palabras, habrá determinado lo que es dado, lo que es fijo, lo que a su criterio "debe ser". Lo más importante es que él habrá determinado todo io que le es permitido y lo que se espera que especifique a medida que progresa, y de esta manera habrá determinado las variables que está autorizado a alterar, utilizando las áreas de posibilidad dentro de las cuales él es libre de elegir. El objetivo de prestar una atención considerable a las restricciones no es meramente saber qué es lo que no se puede hacer, sino de sacar a luz lo que es fijo, de tal manera que el diseñador pueda proceder en la suposición de que las variables restantes pueden ser alteradas. El propósito último es, entonces, el de averiguar en qué aspectos él ***no*** está restringido.

Al terminar esta fase, el diseñador deberá haberse liberado al máximo de las especificaciones establecidas previamente, siempre y cuando esto sea justificado económicamente. El diseñador deberá haber analizado la validez de las restricciones que le han sido impuestas, investigando la rigidez de las no válidas e intentado revocar algunas si esto fuera posible, tanto en sentido económico como de organización. Además, deberá haberse librado cié las restricciones ficticias, que no son más que características particulares de la solución actual del problema, debiendo prestar atención a la eliminación de la tendencia de aceptar lo que "es" como si "debiera ser".

El peligro consiste en autorrestringirse en demasía, con el resultado probable de excluir del análisis, injustificada y desafortunadamente, a soluciones promisorias.

Recopilación de hechos

La recopilación de hechos mencionada antes, se refiere a la obtención de la información pertinente de las características del problema; además de determinar las especificaciones, este proceso implica aprender sobre la naturaleza, el comportamiento y la interacción de ciertas variables que

intervienen en, o afectan a los estados ***A*** y ***B,*** los criterios, el volumen, las restricciones y las soluciones potenciales. Ejemplos de tales variables son los siguientes:

1. Datos pertinentes en un problema de diseño de un almacén, la variación esperada en el tamaño y tiempo de arribo de los embarques.
2. Datos pertinentes en un problema de diseño de una presa, la variación esperada en la precipitación pluvial.
3. Las relaciones entre la calidad de un producto y la demanda del consumidor.
4. La variación, a largo y a corto plazo, en la demanda de energía eléctrica en una comunidad.
5. La relación entre el espesor del aislante y la rapidez de pérdida de calor.

Entonces, el proceso de recopilar hechos puede muy bien consistir en algo más que consultar registros, manuales y otras fuentes de información; puede requerir la observación de fenómenos, analizar datos históricos, experimentación, muestrear la opinión y la reacción humanas y otras formas similares de obtención de información.

Al obtener información relativa al volumen, deben determinarse sus tendencias estacionales de aumento y disminución a otros tipos de ciclos, y sus variaciones fortuitas inherentes, pues el volumen raramente es estático. Es importante también determinar la "vida" esperada del problema en cuestión, por ejemplo, el tiempo esperado de la demanda del producto que está siendo diseñado. Por consiguiente, el diseñador debe obtener información futura, de personas bien calificadas, para hacer tales pronósticos.

El proceso de recopilación de hechos puede incluir también la obtención de la información relativa a la(s) solucion(es) presente(s) al problema sujetas a las precauciones que se mencionarán.

¿En dónde se adapta la solución actual a un problema?

En la mayoría de los casos el diseñador está demasiado familiarizado con la solución actual del problema; o si no lo está, al presentársele el problema, simultáneamente se le muestra la solución actual, lo que puede conducir a que su solución sea realmente un rediseño.

En algunos casos esta familiarización con la solución actual del problema puede resultar conveniente o desventajosa; por ejemplo:

1. Al valorar un problema para determinar si conviene rediseñarlo, es necesario determinar su ahorro potencial. Si se quiere estimar la inferioridad de la solución actual, con respecto a una alternativa, es necesario

tipos y cantidades de mapas necesarios y acomodándolos en un cartón sobre el banco. Una vez lista la orden, él sella y marca el cartón. En seguida, desliza un cartón a la siguiente estación en donde lo pesa y le adhiere las estampillas postales requeridas. Después, lleva la orden lista a la estación de embarque. Con este método, la orden requiere un promedio de diez minutos para su terminación, partiendo del momento en que el empacador recoge la orden, hasta el momento en que él regresa después de haberla colocado en la estación de embarque. El salario es de $1.54 dls. la hora y se llenan 35 órdenes por día, aproximadamente. Se deben apilar 17 mapas diferentes, de tal manera que una orden puede ser desde uno hasta todos los 17 mapas. El siguiente es un análisis de las órdenes recibidas durante cierto período:

Porcentaje de órdenes recibidas	Número de tipos de mapas diferentes solicitados en la orden
3	1
3	2
4	3
7	4
14	5
16	6
13	7
9	3
7	9
3	10
3	11
1	12
2	13
1	14
2	15
1	16
11	17 y más

Una estación de servicio puede requerir cualquier cantidad y cualquier tipo de mapa, pero ¡a orden debe ser menor de 500 mapas en total. El siguiente es un análisis cuantitativo de las órdenes recibidas durante cierto período:

Número total de n iapas solicitados en una orden	Porcentaje de órdenes recibidas
0-50	7
51-100	11
101-150	14
151-200	19
201-250	13
'.'51-300	10
301-350	6
351-400	3
401-450	4
451-500	2
501 y más	11

¿Qué sugeriría usted, si fuese el ingeniero asignado para mejorar este procedimiento? Dé una descripción, paso por paso, del procedimiento que usted recomienda, y dibuje la planta del área de trabajo.

Análisis del problema

2. Cierta compañía de cosméticos tiene un inventario de 200,000 frascos de crema facial, en los cuales ya están impresos la marca, el productor y el precio. Después de haberlos obtenido, la Gerencia decidió elevar el precio sobre aquél que aparece impreso en los frascos. Además, se decidió usar los frascos existentes en inventario y borrar el precio, de tal manera que no exista la menor posibilidad de que un cliente note que ha habido un cambio de precio. Se ha encomendado a un ingeniero la tarea de diseñar el método para eliminar el precio anterior e imprimir el nuevo Dispone de una semana para hacerlo.

Escriba su formulación y análisis del problema.

Búsqueda de las alternativas

Esta fase del proceso de diseño se refiere a un intento para encontrar las soluciones posibles que satisfagan las restricciones impuestas, e indudablemente, durante la valuación, formulación y análisis del problema, el diseñador concebirá o se tropezará con varias de las soluciones posibles. Sin embargo, es precisamente en esta etapa cuando el diseñador concentra sus esfuerzos en la elaboración de soluciones. Podrá observarse que en esta etapa el objetivo es la elaboración de las soluciones, mientras que en las etapas subsecuentes del proceso de diseño, es un subproducto.

Específicamente, esta fase incluye la acumulación de soluciones alternativas y parciales, a partir de diversas fuentes, entre las que pueden citarse libros, manuales, conversaciones, conocimiento previo del diseñador, soluciones de problemas similares y soluciones que anteriormente se dio al problema por resolver.

Esta fase raramente culmina en la obtención de un conjunto de soluciones completas, mutuamente exclusivas; por el contrario, lo que se obtenga será probablemente soluciones parciales, ideas relacionadas tan sólo con uno o varios pasos, o variables de las muchas que una solución eventualmente completa debe incluir. Quizás algunas de estas soluciones pueden ser combinadas; por ejemplo, al culminar esta fase en el diseño de un método para ensamblar televisores, el diseñador habrá obtenido una diversidad de alternativas con respecto a cada una de las variables del método; v.g. el orden de ensamble, el número de estaciones de trabajo, la distribución de las mismas, el método para sujetar y transportar a los subensambles, el método de abastecer estas últimas, etc., algunas de las cuales serán compatibles y otras, no. Ahora bien, en el caso del problema del diseño de un tostador, el diseñador habrá obtenido una diversidad de alternativas con respecto a la forma básica de la unidad, el material, el método de carga y descarga, etc. En la fase siguiente del proceso de diseño, el diseña-

dor evaluará las alternativas en cada categoría, eliminando progresivamente las inferiores y sintetizando eventualmente la solución completa que represente la combinación más favorable de soluciones parciales. A partir de aquí, el diseñador del método de ensamble evaluará subsecuentemente las secuencias posibles de ensamble, el número de estaciones de trabajo, su disposición, etc., y las combinará, a todas ellas, hasta que encuentre la mejor solución general.

En esta fase, las alternativas raramente se especifican en detalle, lo que ordinariamente no es necesario ni aconsejable hacer, ya que muchas alternativas pueden evaluarse sin estar especificadas completamente. Por ***consiguiente,*** muchas alternativas pueden especificarse en forma esquemática, y posteriormente con mucho mayor detalle, si es que el trabajo se justifica ampliamente.

Factores principales en la inventiva

Debido a que las ideas propias del ingeniero constituyen el principal factor del éxito en su trabajo de diseño, y en última instancia, de su prestigio profesional, en lo que resta de este capítulo haremos hincapié en la elaboración de ideas. En lo sucesivo, nos referimos a la inventiva como a la capacidad de una persona para elaborar ideas, en cantidad, calidad y diversidad. La utilidad de la misma es maximizar los diseños ideados.

Los factores principales de la inventiva de un diseñador, parecen ser las siguientes:

1. Sus conocimientos: La información de que dispone para ser usada en la concepción de ideas.
2. El esfuerzo que realiza: Lo activo de su búsqueda de ideas, así como el grado de su dedicación.
3. Su aptitud: Las cualidades innatas que contribuyen a la inventiva.
4. El método que usa: Su modo particular de concebir ideas; por ejemplo, el tipo de proceso de pensamiento, los auxiliares del mismo, el proceso de solución de problemas, las fuentes de consulta, etc.
5. El Azar: Entre el gran número de soluciones posibles a un problema, la que una persona conciba dependerá considerablemente del azar. Y esto será según la cadena de ideas que vaya siguiendo, viendo u oyendo en el transcurso de este período.

En opinión del autor, la aptitud tiene por lo general un efecto insignificante en la inventiva, en contraste con el método de concebir ideas; asimismo, opina que una persona que tenga la llamada baja aptitud inventiva, lo cual, desde luego, está fuera de su control, puede, por lo general, compensar esta "deficiencia" con el método que siga para concebir ideas, lo cual si está bajo su control.

^ítíS analogía del proceso de concebir ideas

-u

>[i]Lf§arémos una analogía física del proceso mental de buscar ideas, para Rescribir la forma eri que esta búsqueda progresa, y algunas de las fallas

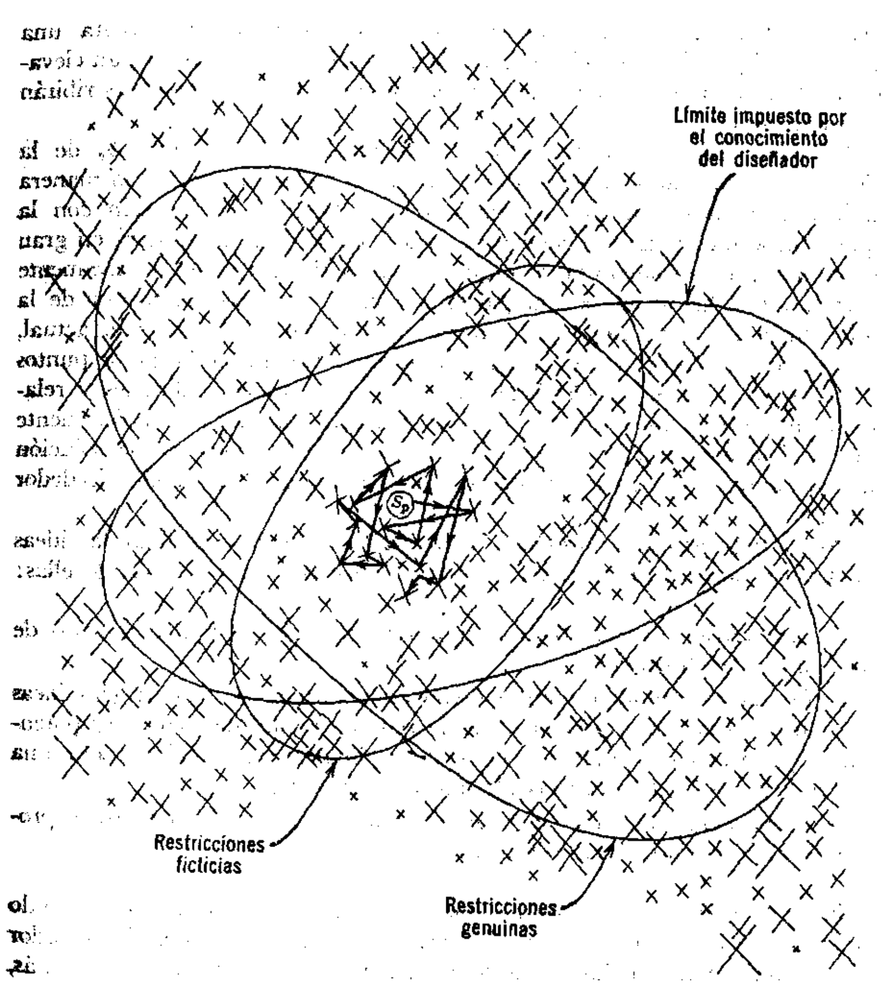


figura 8. ilustración del espacio de solución y dé la manera en la que el diseñador ««ende a tomar muestras de *él.* Las Xs representan las soluciones posibles a un problema Juntado, y la similitud de las soluciones es inversamente proporcional a la distancia entre ellas.

dificultades que implica. En la figura 8 los "puntos en el espacio" son representativos de un número enorme, quizá infinito, de soluciones posibles o parciales para un problema dado, que existen en ün espacio de solución jjtnultidimensional. Supóngase que la distancia que separa dos puntos cualesquiera, es indicativa de la semejanza de las ideas que muestran; las ideas

semejantes se representan mediante puntos adyacentes. Podríamos esperar que el diseñador parta de cualquier punto de este espacio y que continuamente se desplazase a soluciones progresivamente mejores, hasta que el límite de tiempo o la perfección dieran fin al proceso. Sin embargo, las limitaciones de la mente hacen imposible tal grado de perfección; en vez de ello, encontramos que el proceso de búsqueda manifiesta una regresión objetable, prejuicios y azar, produciendo en consecuencia un elevado porcentaje de soluciones que carecen de valor, tal y como se describirán a continuación.

Partiendo de la solución actual, representada por el punto S_e de lá figura 8, un diseñador procede desde un punto (idea) a otro, de la manera indicada en la figura, por la trayectoria de flechas. La solución con la que él proceda, cuando se concentra en una cierta idea, dependerá en gran parte del azar; debiendo notarse que los saltos tienden a ser relativamente cortos, y qué las ideas, por su parte, tienden a agruparse alrededor de la solución actual. Ésta falla que consiste en desviarse de la solución actual, parece ser la trayectoria de menor resistencia. Los saltos largos a puntos remotos, es decir a ideas radicalmente diferentes, parecen difíciles y relativamente raros. Es frecuente que al concebir una idea completamente nuévaj ésta adquiera la fuerza de atracción poseída antes por la solución actual, lo que da como resultado que las ideas se agrupen alrededor de ella.

Por lo expuesto anteriormente, el diseñador deberá seleccionar las ideas dentro de.ciertas fronteras; ***-err*** la figura[1]8-Se muestran tres tipos, de ellas:

1. Las restricciones efectivas (algunas alternativas se han eliminado de los límites del diseñador).
2. Los límites impuestos por los conocimientos de la persona (las ideas que una persona crea, provienen de su reserva mental de soluciones potenciales y parciales, y este conocimiento ordinariamente incluye sólo una fracción pequeña de todas las alternativas posibles).
3. Restricciones ficticias (algunas alternativas son eliminadas pos el propio diseñador, automática e injustificadamente).

Estas fronteras se representan con vatios grados de restricción, siendo frecuente la creencia de que en la mayoría de las situaciones, el diseñador se autoliinita más por las restricciones ficticias, que por las reales. Además, por lo general deja de considerar posibilidades establecidas por ambos tipos de restricciones, y debido a las fronteras ficticias, busca la solución aceptable de una manera tendenciosa, dejando sin considerar grandes áreas de soluciones factibles.

A continuación se mencionan varios de los factores que originan que las ideas se agrupen alrededor de la solución actual:

1. No poner suficiente esfuerzo mental y actividad en la búsqueda de ideas diferentes.

2. Una equivocada formulación del problema, de tal manera que lo qüe busca en realidad son modificaciones pequeñas al método actual, en ;>»W5W de buscar una variedad de soluciones básicamente diferentes.

^ ; 3. £1 efecto tendencioso de la solución actual. Puede ser que el diseñador ; fttya formulado su problema correctamente; sin embargo, la influencia ori- v^pada por haberse enajenado con la solución actual, hace que le sea difícil Apneebir algo diferente. Este es un factor que ahoga cualquier inyentiva, «dando se presenta la situación mencionada en párrafos antériores.

4. La tendencia, natural en cierta forma, a ser conservador, ypijcJa ,a la f í E^mirifin virtualmente automática de que una gran inveráióh' ifafcial ' (i» indeseable, prohibitiva, o imposible.

hjt MBximtzación del número, cali^ctf ^ «tj^r^dfl^ 4f yJjMrioitfl , ¡ yt fflUts a un programa dado

f jááste un gran número de medidas muy efectivas de las cuales puede mieise un diseñador para aumentar su inventiva, ya que, además, dispone dfe- tui caudal de literatura al respecto, que, entre otros libros, incluye los jos completamente al tópico de la inventiva.[1] A continuación se pre- un resumen de las medidas que un diseñador puede tomar para Kiaximizar el número, calidad y variedad de soluciones posibles que él **puede** crear para un problema dado:

tf, 1J¿ diseñador debe maximizar el número y variedad de alternativas de donde él pueda escoger. En términos de la analogia, él debe maximizar el espacio de don- pueda tomar muestras, expandiendo las fronteras limitantes lo más que se ptieda, lo cual puede lograrse por medio de lo siguiente: a) hacer, mientras «i problema se analiza, un intento deliberado y consciente para eliminar las ijtstricciones ficticias y efectivas, en tanto que esto sea justificable económica y organizaidamente; *b)* aumentar sus conocimientos, por lo menos en lo que toca al problerna en cuestión.

Evidentemente, d diseñador deberá tener conocimientos bien fundados acerca rfe los principios y prácticas de «u especialidad; en lo que concierna al dise- feSáílor de métodos, estos conocimientos incluirán los principios y prácticas estable- «)>dos, referentes a las áreas de- procedimientos de trabajo, distribución del lugar ' ¿fe trabajo y diseño de equipo. Además de estos fundamentos, el diseñador "(peberá hacer investigaciones adicionales, exclusivas del problema, en particular; aeúo tiene por finalidad el aumentar su caudal de información, a partir de las Ocoles puede sintetizar ideas,

i-j A continuación de esto, el diseñador debe hacer un muestreo de la región de * «eluciones aceptables, tan efectivamente como le sea posible, a fin de obtener «n grupo de ideas tan grande y diverso como el tiempo lo permita. En tér- "'toaos de la analogia anterior, el diseñador deberá buscar en el espacio disponible, '«nuesireando en muchas áreas diferentes. Esto requiere que él llegue a puntos -Itemotos, en lugar de que las ideas se agrupen, tal y como se describió antes.[2]

? Víase, por ejemplo, el libro de Alex F. Osborn, intitulado *Applied Imagination,* Wb por Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1953, o el de Eugene Von Fange, «lado *Professional Creativity,* Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1959.

IJ Esto no es aconsejable, si se conoce aproximadamente la solución óptima, cosa p«o es probable antes de iniciar la búsqueda.

semejantes se representan mediante puntos adyacentes. Podríamos esperar que el diseñador parta de cualquier punto de este espacio y que continuamente se desplazase a soluciones progresivamente mejores, hasta que el límite de tiempo o la perfección dieran fin al proceso. Sin embargo, las limitaciones de la mente hacen imposible tal grado de perfección; en vez de ello, encontramos que el proceso de búsqueda manifiesta una regresión objetable, prejuicios y azar, produciendo en consecuencia un elevado porcentaje de soluciones que carecen de valor, tal y como se describirán a continuación.

Partiendo de la solución actual, representada por el punto S_e de lá figura 8, un diseñador procede desde un punto (idea) a otro, de la manera indicada en la figura, por la trayectoria de flechas. La solución con la que él proceda, cuando se concentra en una cierta idea, dependerá en gran parte dél azar; debiendo notarse que los saltos tienden a ser relativamente cortos, y qué las ideas, por su parte, tienden a agruparse alrededor de la solución actual. Ésta falla que consiste en desviarse de la solución actual, parece ser la trayectoria de menor resistencia. Los saltos largos a puntos remotos, es decir a ideas radicalmente diferentes, parecen difíciles y relativamente raros. Es frecuente que al concebir una idea completamente nuevai ésta adquiera la fuerza de atracción poseída antes por la solución ac'íual, lo que da como resultado que las ideas se agrupen alrededor de ella.

Por lo expuesto anteriormente, el diseñador deberá seleccionar las ideas dentro de.ciertas fronteras; en- la figura; 8 se muestran tres tipos, de ellas:

1. Las restricciones efectivas (algunas alternativas se han eliminado de los límites del diseñador).
2. Los límites impuestos por los conocimientos de la persona (las ideas que una persona crea, provienen de su reserva mental de soluciones potenciales y parciales, y este conocimiento ordinariamente incluye sólo una fracción pequeña de todas las alternativas posibles).
3. Restricciones ficticias (algunas alternativas son eliminadas pos el propio diseñador, automática e injustificadamente).

Estas fronteras se representan con varios grados de restricción, siendo frecuente la creencia cíe que en la mayoría de las situaciones, el diseñador se autolimita más por las restricciones ficticias, que por las reales. Además, por lo general deja de considerar posibilidades establecidas por ambos tipos de restricciones, y debido a las fronteras ficticias, busca la solución aceptable de una manera tendenciosa, dejando sin considerar grandes áreas de soluciones factibles.

A continuación se mencionan varios de los factores que originan que las ideas se agrupen alrededor de la solución actual:

1. No poner suficiente esfuerzo mental y actividad en la búsqueda de ideas diferentes.

2. Una equivocada formulación del problema, de tal manera que lo qué $e busca en realidad son modificaciones pequeñas al método actual, en lugar de buscar una variedad de soluciones básicamente diferentes.

3. El efecto tendencioso de la solución actual. Puede ser que el diseñador haya formulado su problema correctamente; sin embargo, la influencia ori-gpjaada por haberse enajenado con la solución actual, hace que le sea difícil concebir algo diferente. Este es un factor que ahoga cualquier iaventiva, mando se presenta la situación mencionada en párrafos anteriores.

4. La tendencia, natural en cierta forma, a ser conservador, yipi,da f la J j suposición virtualmente automática de que una gran inverisióh iiitcial' ¡es, indeseable, prohibitiva, o imposible.

. í N 'í.KOí':=\,V C.\\>% A i A

I» maximización del número, ccril^j y ^T^ffdfdj # ¡ ¡ ^ ffribles a un programa dado

, Existe un gran número de medidas muy efectivas de las cuales puede «nierse un diseñador para aumentar su inventiva, ya que, además, dispone dé un caudal de literatura al respecto, que, entre otros libros, incluye los dedicados completamente al tópico de la inventiva.[1] A continuación se pre-wpta un resumen de las medidas que un diseñador puede tomar para maximizar el número, calidad y variedad de soluciones posibles que él puede crear para un problema dado:

i. £1 diseñador debe maximizar el número y variedad de alternativas de donde él pueda escoger. En términos de la analogía, él debe maximizar el espacio de don-4c pueda tomar muestras, expandiendo las fronteras limitantes lo más que se . pueda, lo cual puede lograrse por medio de lo siguiente: a) hacer, mientras el problema se analiza, un intento deliberado y consciente para eliminar las restricciones ficticias y efectivas, en tanto que esto sea justificable económica y organizadamente; b) aumentar, sgs conocimientos, por lo menos en lo que toca al problema en cuestión.

Evidentemente, el diseñador deberá tener conocimientos bien fundados acerca ¡áe los principios y prácticas de -su especialidad; en lo que concierna al dise-fiádor de métodos, estos conocimientos incluirán los principios y prácticas establecidos, referentes a las áreas de procedimientos de trabajo, distribución del lugar 4c trabajo y diseño de equipo. Además de estos fundamentos, el diseñador deberá hacer investigaciones adicionales, exclusivas del problema, en particular; esto tiene por finalidad el aumentar su caudal de información, a partir de las cuales puede sintetizar ideas.

2- A continuación de esto, el diseñador debe hacer un muestreo de la región de soluciones aceptables, tan efectivamente como le sea posible, a fin de obtener un grupo de ideas tan grande y diverso como el tiempo lo permita. En términos de la analogía anterior, el diseñador deberá buscar en el espacio disponible, maestreando en muchas áreas diferentes. Esto requiere que él llegue a puntos ««notos, en lugar de que las ideas se agrupen, tal y como se describió antes.[2]

' Véase, por ejemplo, el libro de Alex F. Osborn, intitulado *Applied Imagination,* «•itado por Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1953, o el de Eugene Von Fange, «titulado *Professional Creativily,* Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1959.

Esto no es aconsejable, si se conoce aproximadamente la solución óptima, cosa no es probable antes de iniciar la búsqueda.

Idealmente, esta búsqueda del espacio de la solución debe ser directa, sistemática y carente de elementos de azar, pero desde lugo esto es imposible, ya que la búsqueda será siempre, al menos parcialmente, fortuita, dada la naturaleza de la mente y del proceso de crear ideas. Sin embargo, el diseñador debe encauzar y sistematizar su búsqueda tanto como le sea posible.

El volumen y los criterios ofrecen la? bases para la orientación de esta búsqueda de alternativas. Recuérdese que el volumen (uso) involucrado afecta las áreas de posibilidades semejantes de producir soluciones superiores (recuérdese el bote de remos y el puente) y, por consiguiente, las áreas generales que deben ser investigadas.

IJOS criterios, con factores de ponderación especiales tienen un efecto similar (recuérdese la escopeta de gran calidad), Es esta la razón principal de orientar la búsqueda del espacio de la solución, por la que el volumen y los criterios tienen una importancia considerable durante el análisis del problema.

El sistema se introduce en la búsqueda principalmente a través de la organización apropiada de los pensamientos del diseñador, y de sus pesquisas e investigaciones, para que se considere un amplio límite de soluciones, básicamente diferentes. Además, varias de las medidas qúé se presentarán para aumentar la inventiva servirán para sistematizar esta búsqueda.

Independientemente de la sistematización, dirección y de lo casual que puedan caracterizar a esta búsqueda, *lo* importante es que el diseñador penetre en *las* áreas en las cuales puede buscar ideas con éxito. Existe un número de sugestiones que el diseñador debe considerar comó un medio para mejorar la efectividad de este proceso de búsqueda, álgunas son auxiliares del pensamiento, otras son precauciones que han de tomarse en contra de tendencias perjudiciales, y otras más, son métodos para facilitar una búsqueda sistemática.

Las siguientes sugestiones son típicas de estas medidas:

a) *Ejerza el esfuerzo necesario.* El diseñador debe concentrarse y dedicarse efectivamente al problema, ya que la inventiva va acompañada de una buena dosis de esfuerzo mental.

b) *Asuma una actitud totalmente indagatoria.* El uso frecuente de la sencilla pregunta ¿POR QUÉ?, puede hacer maravillas descubriendo alternativas productivas.

c) *Intente utilizar un método sistemático.* Por ejemplo, la aplicación sistemática de preguntas diferentes, la alteración sistemática de las variables, la examinación también sistemática de soluciones análogas, o la substitución, inversión, rearreglo y combinación sistemáticos de las ideas.

d) *Intente hace,' listas de verificación* de buenas ideas y preguntas, las cuales hein demostrado, con anterioridad, la conveniencia de tomarlas en consideración, ya que esto resulta un auxiliar de la memoria, y su objetivo es orientar el pensamiento de una persona en varias direcciones. En términos de la analogía del espacio antes mencionada, el uso de las listas de verificación obliga a realizar saltos a puntos remotos, eliminando la tendencia de agrupación.

e) *Busque muchas alternativas.* Permita que el objetivo inmediato sea el de acumular tantas alternativas como el tiempo lo permita.

f) *Consulte a los demás.* Busque activamente información y sugestiones de vendedores, clientes, supervisores, inspectores, ajustadores y demás personas relacionadas con el asunto; estas conversaciones, además de aumentar los conocimientos del diseñador, hacen que emerjan sus ideas y, como tercer efecto benéfico, facilitan la aceptación futura de proposiciones, por parte de las personas que fueron consultadas y que, como una consecuencia de ello, tuvieron la oportunidad de contribuir.

g) *Intente alejar su pensamiento de la solución existente.* Este es un ataque directo a la tendencia de agrupación, lo que no es fácil, ya que la solución

actúa en ocasiones como una barrera formidable al pensamiento. Sin embargo, íb con un poco de disciplina mental se pueden iniciar valiosas series de pen-

* jjj *intente el método de grupo.* Este método, popularmente conocido como "discusión colectiva", incluye a un grupo de personas reunidas con el propósito exclusivo de obtener soluciones para un problema; durante su realización se solicitan ideas que se escriben en un pizarrón para que puedan ser vistas por todos, estimulándose así el volumen de ideas, y eliminando cualquier forma de evaluación durante este período. Se contribuirá con ideas sin im- •i. portar lo ridiculas que puedan parecer al momento, ya que realmente la ^cantidad de ideas así generadas, es mayor que la lograda por el mismo ,^r'fitlmero de personas trabajando independientemente, lo que se debe a las dos fcbii^siguientes razones: Primera, los límites impuestos por los conocimientos de cada individuo, se amplían debido a que las esferas de conocimientos de ^.j..,, ¡ individuos diferentes, no coinciden completamente. Segunda, el flujo constante de ideas tiene el efecto de activar el pensamiento de cada individuo.

sea conservador. No se aleje de las ideas completamente nuevas. En términos de la analogía, cuando realizamos un gran salto con éxito, la tenden- or> lotáji natural es volverse hacia atrás, siendo lo correcto favorecer las ideas {> fr.probadas durante un largo tiempo y de las cuales estamos seguros de que «mi ,trabajarán satisfactoriamente. Existe una tendencia a ser conservadores en este » ; respecto, eliminando ideas que implican un riesgo razonable. Por su natura- ** ! leza misma, la originalidad lleva consigo un elemento de riesgo adicional, pero con originalidad es con lo que se escribe la historia.

«>})') *Evite el rechazo prematuro.* No se apresure en rechazar las ideas; de hecho, aplace la evaluación de las mismas. Como dijo un autor, "no mezcle la generación de ideas con su evaluación". Lo que parezca una idea ridicula en un momento, puede ser modificada por otra y convertirse en una alternativa productiva; operar sin prejuicios suele presentar la ventaja de no preci- 'pitar los errores.

1c) *Evite la satisfacción prematura.* No se sienta tentado a aceptar la primera .;•{v "buena" idea, o la primera que parezca ser una mejora apreciable a la .06/: solución actual, cuando en realidad se justifica económicamente continuar .tt&üoicdM la búsqueda. Es muy fácil cegarse con la primera idea "brillante", y este es el caso cuando un diseñador ha empleado mucho tiempo en los ""•'• detalles de un nuevo diseño, y repentinamente descubre la existencia de una solución muy superior, que hace inútiles estos detalles. Bajo esta circunstancia, el diseñador puede tender injustificada e inconscientemente a eliminar de consideración posterior la nueva idea. Debido a que ésta es una reacción subjetiva, debemos darnos cuenta de su existencia para poder eliminarla.

l) Refiérase a problemas análogos para buscar ideas.

m) *Trabaje en un ambiente propicio al pensamiento creativo.* Es de gran ayuda trabajar en un ambiente propicio, en donde el diseñador pueda pensar sin interrupción durante períodos prolongados.

n) *Permanezca consciente de las limitaciones de la mente en la concepción de tdeas.* Si el diseñador está consciente siempre de su tendencia a imponer restricciones artificiales, a ser conservador, a evaluar prematuramente, etc., entonces habrá dado un paso importante en la eliminación de estas tendencias.

Existen otras medidas para aumentar la inventiva, por ejemplo: concenterse en lo ridículo, hacerlo uno mismo, haciendo a un lado el problema «Ufante un tiempo, y anotando todas las ideas.

Todo lo anterior se refiere a lo que el diseñador puede recurrir con objeto de auxiliarse, a corto plazo, en la solución de un problema.

Existen medidas tendientes a mejorar, a largo plazo, la inventiva del diseñador, las cuaíes deben considerarse cuidadosamente: algunas de ellas se discutirán en un capítulo posterior que trata sobre las responsabilidades del ingeniero administrador para con el personal.

Resgrhen

Esta fase cubre una búsqueda parcialmente fortuitá, sistemática y directa, con base en las restricciones, volumen y criterios. Primariamente, consiste en la búsqueda de soluciones progresivamente mejores en el caudal dé conocimientos del diseñador.

tsta búsqueda debe terminar, conceptualmente, cuando el costo incrementai de Ta búsqueda equilibre las mejoras probables en las soluciones, siendo difícil decidir, en la práctica, cuándo termina esta fase.

La efectividad de esta búsqueda se aumenta adhiriéndose al proceso del diseño descrito aquí, ya que muchas de sus características tienen el objetó de encontrar soluciones mejores. En esta fase en particular, se sugiere que el diseñador intente primero maximizar el número y la variedad de alternativas elegibles, y después muestree tan efectivamente como le sea posible, eliminando ciertas tendencias indeseables, valiéndose de los descritos auxiliares de búsqueda.

REFEUNCIAS

"Brainstorming", Better Ways to Solvc Plant Problems", *Pactory,* Vol. 114, No. 5, mayo, 1956.
"Creative Thinjúng Trainirig", *Factory,* Vol. 115, No, 11, noviembre, 1957.
Osborn, Alex F'., *Applied Irnugination,* Charles Scribner's Sons, Nueva York, 195".
Osbórn, Alex F., *Your Creative Power,* Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1950.
Pearian, P- S., *Creativeness for Engineers,* Edward Brothers, Ann Arbor, Michigan, 1958.
Von Fange, Eugene, *Professipnul Creativity,* Prentice-Hali, Eiis¡ewüoíl, Cüffs, New Jersey, 1959.





Evaluación de las alternativas, espeoítoctón de una solución y parte del ciclo de diseño

Una vez que el diseñador ha logrado obtener un conjunto de soluciones conforme a los métodos descritos en la fase anterior, procederá a la fase de la búsqueda, la que con toda propiedad puede describirse como un proceso de ampliación, tanto del número como de la diversidad de soluciones alternativas, para hacer posteriormente su selección, como se muestra de manera gráfica en la figura 9. Una vez terminado este proceso de ampliación, mediante una evaluación y comparación, combinación y rccombinación, se procede a una eliminación, la cual condensará esta colección de ideas en una única y mejor solución. Entonces, al proceso de ampliación lógicamente le sigue uno de reducción (figura 9), para lo cual la secuela usual es: con medios relativamente burdos, por el simple sentido común, por ejemplo, se empiezan a evaluar las distintas alternativas, todas ellas aún en un estado aproximado de especificación; después, con un procedimiento todavía más discriminatorio se procede a una segunda evaluación de las alternativas, lo que conduce a la eliminación de un mayor número de posibilidades, prosiguiendo el método, a criterio del diseñador, hasta la solución que él considere óptima. Debe observarse que gran parte de este proceso involucra soluciones parciales, cuya combinación y recombinación muy probablemente convergen en la solución final.

Al final de la fase anterior, se procede a especificar y detallar suficientemente la solución "final", a fin de <jue sea aplicáble. En ciertas ocasiones, f V diseñador no hace la elección final, sino que presenta a la persona encargaba de ello, un púrrjero limitado de a)ter»^t¡v«s cop datos sobre su rendimiento y costo, para que así ella pueda tomar unp. decisión. Es muy

difícil hacer generalizaciones con respecto al procedimiento de evaluación; sin embargo, se puede detectar un procedimiento general de evaluación cuando ésta no es meramente subjetiva, sino que es formal, refinada y de naturaleza cuantitativa. Este proceso incluye la solución de los criterios, la predicción de la "efectividad" de cada alternativa con respecto a cada criterio, la conversión a términos monetarios de estas estimaciones y la comparación de las alternativas de una manera inteligente que facilite

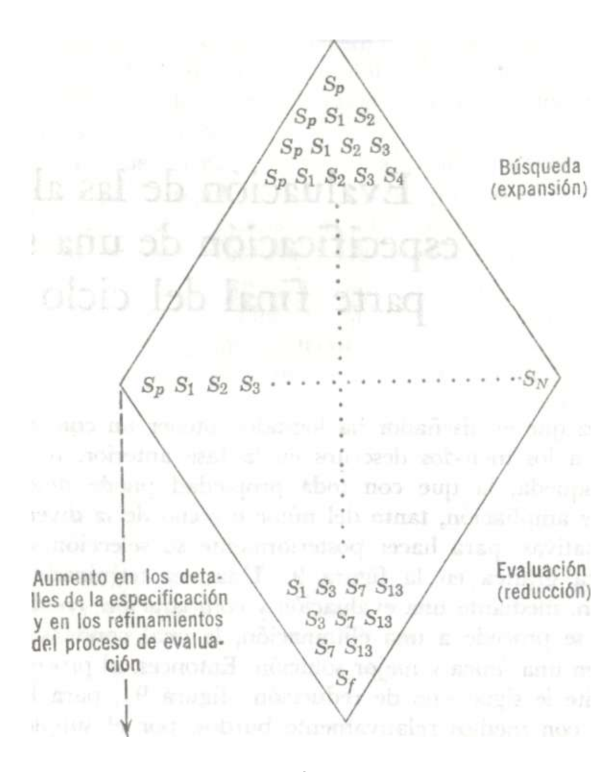


Figura 9. Formulación diagramática de las fases de búsqueda y evaluación en el proceso de diseño, partiendo de la solución presente y terminando con la final (5[1]/).

la decisión, seguida de la selección de la mejor alternativa. Estos pasos se describirán con detalle, a continuación,

Selección de los criterios

La base para la evaluación la proporcionan los criterios identificados como parte del análisis del problema, al menos en una forma general. En muchos problemas de ingeniería, el criterio principal es la ganancia en la inversión, la cual en su más amplio sentido se refiere al beneficio esperado de una solución alternativa en relación con su costo. En el diseño del

producto, esto requiere valorar los beneficios de cada alternativa del diseño, expresados en forma de ingresos por concepto de ventas y de servicios al público, junto con una estimación del costo total de cada una de ellas; por ejemplo, en el caso de construcción de puentes, presas o carreteras, las estimaciones se refieren a los servicios al público y al costo de construcción de la obra. En el caso de diseño de métodos de trabajo, este criterio requiere estimar los costos pertinentes [1] a la operación de cada método posible así como los costos iniciales de los mismos, refiriéndose estos últimos a los costos de equipo y materiales, preparación y producción perdida.

No obstante que el criterio más común puede ser la ganancia en la inversión, no debe suponerse que siempre se busca la maximización de las ganancias, sino que algunas veces suelen regir criterios menos objetivos. Por ejemplo, existe el "criterio de la felicidad", en el que el objetivo del diseñador es el de seleccionar aquella alternativa que sea aceptada por todas las personas involucradas; en algunas ocasiones, éste suele ser el criterio básico, y en otras, sólo uno de los varios establecidos.

La predicción del comportamiento de las alternativas, y su conversión a términos monetarios

Una de las tareas principales del diseñador en la fase de evaluación, es la de predecir cuantitativamente el comportamiento de cada alternativa con respecto a cada uno de los criterios considerados. Por ejemplo, el diseñador de un método de trabajo debe predecir el tiempo de ejecución de cada alternativa, el esfuerzo requerido, la habilidad demandada, la fatiga causada, la flexibilidad ofrecida, el mantenimiento necesario, etc., etc., y después, reducir todo a pesos. La mayoría de estas predicciones han de hacerse cuando el método aún está en su etapa conceptual, debido a que la experimentación raramente es económica; precisamente bajo estas condiciones es cuando no se puede predecir con exactitud el desempeño futuro y los costos relacionados a cada alternativa, ya que, aun en la más favorable de las condiciones, es imposible eliminar los errores de medición, de pronósticos y de las decisiones consecuentes; debe aclararse que estos errores no son la única causa de incertidumbre en la evaluación de los diseños posibles. La existencia de muchos criterios y su interdependencia obliga, en ocasiones, a ignorar varios de ellos durante la evaluación, debido a limitaciones de criterios intangibles, los cuales no se pueden expresar cuantitativamente; por ejemplo, no se puede expresar cuantitativamente la aceptación que entre los clientes tengan diferentes diseños del producto. Hay otros criterios, que aun cuando se puedan expresar cuantitativamente, no pueden ser convertidos de modo satisfactorio a términos monetarios, trayendo como consecuencia que en la solución final deban considerarse niuchos criterios no expresados en pesos y centavos, o numéricamente

[1] **Al tomar una decisión, se excluyen los costos que no son afectados por ella.**

El procedimiento de evaluación en el trabajo de diseño es muy variable, ya que el carácter único de las especialidades de la ingeniería y de sus problemas, hace imposibles las generalizaciones. Sin embargo, una generalización que sí se puede hacer, es la de que el sentido común juega un papel muy importante en la evaluación de las alternativas de diseño.

ESPECIFICACION DE LA SOLUCION PREFERIDA

La fase de especificación del proceso de diseño, implica una delineación de los atributos *y* de las características de comportamiento del diseño seleccionado, siendo el propósito principal de esta fase el de comunicar la solución a las personas involucradas, tales como:

1. Las personas responsables de aprobar la solución.
2. Las personas encargadas de la creación física de la solución.
3. Las personas responsables de administrar la solución una vez en uso, tales como el supervisor encargado de un nuevo método de manufactura.
4. Las personas responsables del mantenimiento de la solución, tales como el personal responsable de prestar servicio a un producto, una vez que está en el mercado.
5. Todo aquel que en el futuro necesite de las especificaciones detalladas de la solución.

El hecho de que no es probable que el diseñador desempeñe las funciones mencionadas, hace necesario que él ponga una atención particular en esta función de comunicación, debiendo registrar su solución claramente y con el detalle suficiente, de manera que le permita tomar decisiones inteligentes y un mejoramiento fructífero de la misma. Nunca está por demás hacer hincapié en la importancia que tiene la habilidad del diseñador para comunicar sus ideas en forma efectiva.

EL CICLO DE DISEÑO

Raramente la tarea del diseñador termina con las especificaciones de una solución, sino que su responsabilidad incluye lograr la aceptación de su diseño, vigilar su instalación y uso, observar y evaluar el diseño una vez en uso, y decidir (o contribuir a la decisión) cuando sea aconsejable rediseñar. Estas funciones constituyen un ciclo completo, el cual se ilustra en la figura 10, mencionándose, a continuación, las funciones posteriores a la especificación.

Mejoramiento del diseño. Para asegurar, dentro de lo posible, el éxito de su solución, es vital que el diseñador favorezca la aceptación de su diseño propuesto, y vigile su realización y su utilización inicial. Como

se indica en la figura 10, estas medidas constituyen la fase de mejoramiento del ciclo de diseño.

El diseñador debe lograr que su propuesta gane la aceptación del personal ejecutivo y de operación. Casi sin excepción, la Ingeniería tiene una función de servicio dentro de la organización, lo cual significa que el ingeniero actúa como consejero o consultor del resto del personal. Por lo general, el ingeniero sólo tiene autoridad para ordenar a sus subordina-

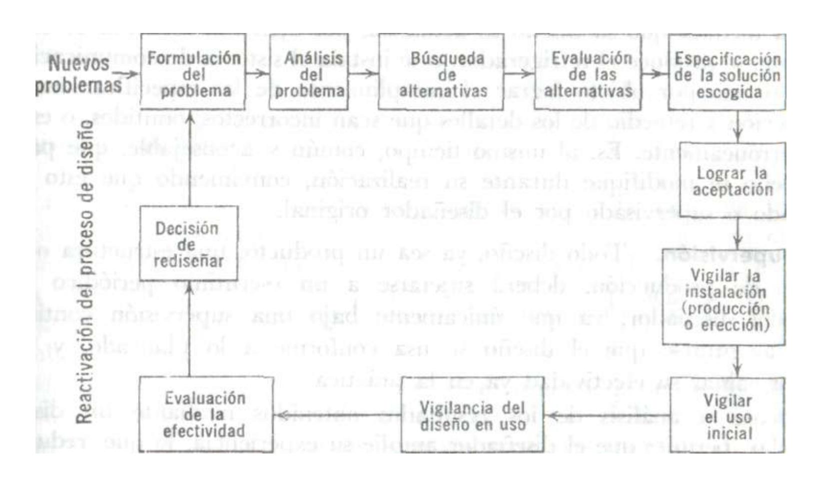


Figura 10. El ciclo de diseño.

dos, y fuera de esto, únicamente está autorizado organizacionalmente para *aconsejar,* lo que suele originar que después de dedicar muchas horas a la solución de un problema de diseño, ésta sea rechazada totalmente por aquéllos que tienen el poder de hacerlo.

Para ganar la aprobación deseada, se requiere que el diseño sea algo más que técnica y económicamente aceptable, ya que la aprobación también requiere, con frecuencia, que la propuesta no comprometa los intereses de quienes tengan el poder de veto. Por consiguiente, el papel consultor del ingeniero, aunado al hecho de que se pueden originar diferencias de opinión, ya que siempre interviene el sentido común al tomar decisiones respecto a diseños, y el hecho de que las personas permiten con frecuencia que sus decisiones sean influidas por motivos personales, hacen imperativo que el diseñador considere con especial cuidado este asunto de lograr la aceptación.

Los ingenieros jóvenes suelen iniciar su profesión con la impresión errónea de que sus propuestas deberán ser aceptadas si son superiores técnica y económicamente, subestimando la necesidad de una presentación completa y efectiva de las mismas, cuando en realidad deben convencer

a los demás. tic lo bueno y valioso que son sus ideas, de una cierta cantidad de "compromiso realista" con respecto a determinadas características de sus diseños propuestos y de planear todo cuidadosamente para minimizar la "resistencia at cambio'*. Lo último es muy importante, por lo que se cfiscutirá en este mismo capítulo.

tina vez que su diseño ha sido aceptado por el personal apropiado, es importante que el diseñador supervise diligentemente la realización de su diseño (erección, producción o instalación, cualquiera que sea el caso). Es necesario y conveniente que el diseñador Sirva en uria capacidad de consejero a medid» que su diseño se actualiza, por ejemplo, mientras se erige el puente, se produce el refrigerador, o se instala el sistema de comunicación, teniendo esto por objeto lograr el cumplimiento de las especificaciones y la detecc ión y remedio de los detalles que sean incorrectos, omitidos, o escogidos erróneamente. Es, al mismo tiempo, común y aconsejable, que parte del diseño se modifique durante su realización, conviniendo que esto sea ejecutado o supervisado por el diseñador original.

La supervisión. Tocio diseño, ya sea un producto, una estructura o un método de producción, deberá sujetarse a un escrutinio periódico por parte del diseñador, vá qüC -únicamente bajo tina supervisión continua puede asegurarse que el diseño se usa conforme a lo planeado, y que permite valuar su efectividad ya en la práctica.

Además, el análisis de los resultados obtenidos mediante un diseño particular, permite que el diseñador amplíe su experiencia, lo que redunda en un mejor rendimiento de sus diseños futuros. Esta fase del ciclo de diseño es de lo más productiva, pero aparentemente descuidada con facilidad, pues es raro el diseñador que no se beneficie observando, durante un tiempo considerable, cómo trabaja el sistema diseñado por él. Por ejemplo, fácilmente podrá observarse la utilidad, que tiene para el diseñador el cúmulo de información que pueden proporcionarle los clientes, minoristas, mayorista», vendedores y otros que tienen una asociación intima con su diseño ya en operación. Sin embargo, todo parece indicar t|ue este caudal de información no suele utilizarse.

El cuidado que se tenga en la evaluación de la supervisión, es un índice que permite estimar la capacidad de un buen ingeniero de métodos.

Actualización del proceso de diseño. La evaluación periódica de la efectividad proporciona también una base ¡jara decidir cuando es económicamente conveniente proceder al rediseño del sistema, ya que ninguna solución a un problema práctico es la mejor en forma indefinida, pues, los adelantos científicos seguramente permitirán soluciones mejores, o se originan nuevas demandas, o se desarrollan huevos materiales y herramientas, o cambian las condiciones, o se efectúa la depreciación física, de tal manera que se alcanza un punto en el que es productivo buscar una nueva y mejor solución al problema y es lógico que sólo mediante una revisión y evaluación periódicas de la solución existente, el departamento de ingeniería puede decidir cuando es conveniente un rediseño de la misma.

Estas funciones se descuidan fácilmente, no obstante que son responsabilidades básicas de un ingeniero.

El ciclo de diseño se completa cuando, después que la solución de un problema se ha encontrado y llevado a la práctica, se decide que el diseño es obsoleto y de nuevo se inicia el proceso de diseñar una solución í mejor. Esta no es la única base para iniciar el proceso de diseño, sino .•que en ocasiones resulta un problema nuevo, una necesidad nueva; así, por ejemplo, la introducción del transistor creó un problema de diseño de '¡proceso, con el cual nunca antes se habían enfrentado los ingenieros. (En realidad, muy pocos son los problemas de diseño que ciertamente no sean j.rediscñados.)

.Resistencia al cambio

La resistencia al cambio puede definirse como la falta de voluntad ¡para aceptar una modificación, basándose esta actitud en algo diferente Z. los deméritos del cambio en sí. La frecuencia con la cual se encuentra esta resistencia, hace que este problema sea de importancia primordial para un ingeniero, ya que la mayor parte de su tiempo lo dedica a planear cambios (potenciales).

Muchos de nosotros, al iniciarnos en el mundo de los negocios, necesitamos mucho tiempo para acostumbrarnos ál hecho de que las ideas valiosas no se aceptan automáticamente, sino que es necesario realizar un trabajo de convencimiento muy completo para lograr su aceptación, y que aun entonces, se desperdicia una gran cantidad de ideas valiosas. De hecho, es difícil de comprender, y en ocasiones resulta desalentador, el número de veces en las que no logramos la aceptación; pero esto no es tan difícil "'de comprender, si estamos conscientes de las numerosas causas potenciales de la resistencia al cambio. Afortunadamente, el conocimiento de las causas, y su prevención,. permite disminuir la frecuencia y severidad de la resistencia al cambio.

1 De la habilidad que un ingeniero tenga para lograr' la aceptación de "Sus ideas, dependerá su progreso en una organización, ya que no se le contrata meramente por el conocimiento técnico que pueda proporcionar, sino se espera que él produzca aplicando estos conocimientos a su inventiva. "iSáft embargo, no basta tener inventiva, sino que, también debe tener "'facultad de convencimiento pafa lograr la aceptación y el uso efectivo de *Us diseños, y cualquier deficiencia en alguno de estos aspectos, pone Ji«ii peligro las oportunidades de ascenso de un ingeniero.

sorprendente la cantidad -de tiempo que un ingeniero utiliza tratando otros empleados, y su conducta durante estos "tratos" afecta grandemente a su éxito para hacer que estas personas acepten sus ideas. A Pesar de esto, el ingeniero "es notoriamente ¡«hábil en el área de las relaciones humanas, siendo esta torpeza propicia para ía adopción de los cambios por él propuestos, la causa de su mala reputación. Por consiguiente,

conviene conocer ahora cuáles son las fallas y cómo se minimizan las dificultades resultantes de la introducción de cambios. Muchas propuestas valiosas se rechazan por causas que no se relacionan con su contenido técnico. Sin embargo, merece una mayor consideración el porcentaje de propuestas que son aceptadas e instaladas, y que posteriormente demuestran no ser satisfactorias, no por razones técnicas, sino porque las personas afectadas por los nuevos métodos han resistido y respondido de tal modo que las hacen fallar. Un nuevo sistema puede encontrar no sólo falta de cooperación e indiferencia al instalarse, sino que, además, puede enfrentarse a intentos deliberados para hacerlo fracasar.

Causas básicas de la resistencia al cambio. El conocimiento de las causas básicas de la resistencia al cambio, es útil al planear la introducción de cambios para minimizar la resistencia y para diagnosticar y remediar las situaciones en donde se ha encontrado resistencia después de introducir cambios.

Existe un hecho importante, que debe reconocerse al tratar con problemas de resistencia al cambio, consistente en que casi todo individuo dentro de una organización tiene motivos personales que están en conflicto con los objetivos globales de la empresa; entre los más importantes de ellos, podemos citar los siguientes:

1. Lograr ***ascender*** dentro de la organización.
2. Ser de alguna ***importancia*** ante los ojos de asociados, superiores, familia y amigos.
3. Ser ***estimado*** por los compañeros.
4. Ganar más ***dinero.***
5. Recibir alguna ***satisfacción*** por el trabajo realizado.
6. ***Participar*** en la toma de decisiones concernientes al bienestar personal.
7. Obtener ***seguridad*** con respecto al empleo, posición salario, etc.[2]

El punto importante es que una persona ***tiende*** a resistir un cambio, no obstante el hecho de que éste pueda aumentar las ganancias de la compañía, si es que el cambio está en conflicto con los objetivos personales mencionados antes, por lo que cabe preguntar: ¿qué reacción puede esperarse de una persona, si un cambio propuesto disminuye sus oportunidades de ascenso, o disminuye su importancia, o lo hace impopular entre sus asociados o subordinados, o disminuye sus oportunidades de ganar más dinero, o reduce la satisfacción que obtiene de su trabajo, o amenaza la seguridad de su empleo? ¿Es posible que acepte un cambio al que no contribuyó, o sobre el cuál no opinó? ¿Es factible que apruebe un cambio que le cause la vergüenza de parecer negligente o ignorante, debido a que él cree que debió haber pensado en la idea, quizá hace mucho tiempo?

[2] **Estos no son los únicos objetivos buscados, ni tampoco cada individuo tiene todos estos objetivos, ni cada individuo les da la misma importancia.**

Por otra parte, generalmente, el individuo no está dispuesto a hacer ningún sacrificio en favor de la compañía.

Por tanto, no es realista pensar que todos actúan siempre conforme a los intereses de la compañía que los emplea, y consecuentemente, existe una cantidad asombrosa de "suboptimización" dentro de la administración y operación de cualquier empresa.

Existen numerosas causas específicas de la resistencia al cambio que se originan del casi universal conflicto entre los objetivos personales y los organizacionales. En el apéndice B se presenta una lista de verificación de estas causas, incluyéndose una serie de recomendaciones para minimizar tal resistencia.

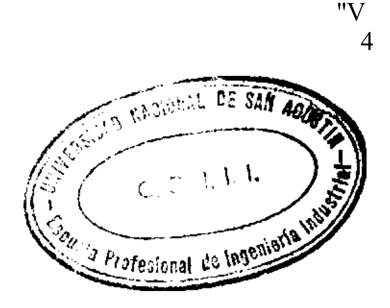
Desde el momento en que se inicia un proyecto de diseño, se debe prestar atención a este problema de la resistencia al cambio, y nunca deberá aplazarse hasta tener la solución final, pues puede no ser aceptada por las personas indicadas. Tampoco deberá el diseñador excluir de su análisis a este tema tan importante, durante la realización de su trabajo, esperando hacerlo hasta que haya obtenido la solución que le parezca estratégicamente buena para su aceptación, ya que para entonces puede ser demasiado tarde; en vez de esto, debe empezar a preparar el terreno para lograr la aceptación *desde el momento en que se inicia el proyecto.*

El diseñador debe analizar su conducta, su manera de tratar con el resto del personal, las características de su propuesta, etc., con el objeto de minimizar las posibilidades de un rechazo posterior de sus ideas; por este motivo, al problema de resistencia al cambio deberá dársele la mayor atención posible, conviniendo una *planeación* que minimice la probabilidad de que ocurra, y nunca pretendiendo *diagnosticar* la causa de situaciones desafortunadas, con el fin de conocer el origen de los rechazos a sus proposiciones, para saber lo que debe hacerse y rebatirlas.

PARTE II

INTRODUCCION A LA INGENIERIA DE METODOS

"V
4



m



Ingeniería de métodos: Examen general

La ingeniería se refiere principalmente a la aplicación de métodos analíticos, de los principios de las ciencias físicas y sociales y del proceso creativo, al problema de *convertir* nuestras materias primas y otros recursos en formas que satisfagan las necesidades de la humanidad. El proceso relacionado con la solución de este proceso de conversión es conocido comúnmente con el nombre de diseño.

Aun cuando en ciertos aspectos son diferentes los problemas tratados en las diversas especialidades de la ingeniería, todos ellos tienen la característica común de consistir en la transformación de ciertas características, de un estado a otro. Por ejemplo, el ingeniero mecánico se preocupa principalmente de la transformación de la energía, en su forma natural, a energía en una forma fácilmente usable. En un sentido que abarca un área mucho más amplia, el estado ***A*** es energía en la forma de carbón, petróleo, el átomo, el Sol, etc., mientras que el' estado ***B,*** es energía aplicable, usualmente en forma mecánica, como por ejemplo, el' producto de salida de la máquina de combustión interna, de la turbina, clel motor a reacción, etcétera, etcétera.

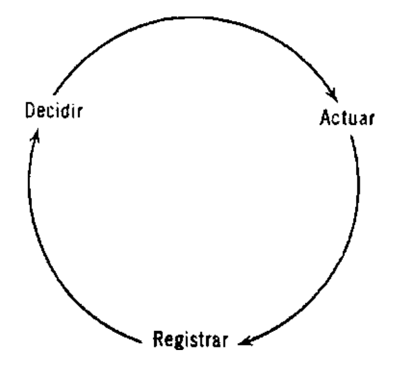
Ingeniería industrial

El ingeniero industrial se ocupa principalmente de la transformación de materiales a un estado diferente y más aplicable con respecto a forma, lugar o tiempo. Su responsabilidad consiste en diseñar el mejor medio (método) de lograr esta transformación, por ejemplo, de una manera que

maximice la ganancia en la inversión.[1] Este medio puede ser una fábrica de autos, una fábrica de tejidos, una fundidora, o cualquier otro tipo de instalación productiva. En este caso, el estado A es el material sin procesar y el estado *B* es el material procesado. El primero, puede ser acero **y** otros materiales; el último, una máquina de escribir, etc. El ingeniero industrial se especializa, entonces, en el diseño de los medios de producción, el que consiste en un conjunto completo de hombres, máquinas, materiales y redes de comunicación, los cuales, a través de un diseño concienzudo e inteligente, hacen que se realicen los objetivos de los propietarios **y** del diseñador.

El medio de producción, cualquiera cjue sea el producto elaborado, es en realidad un organismo altamente complejo e integrado de muchas partes mutuamente dependientes; muy similar, en muchos aspectos, a un organismo viviente. Cada parte tiene un componente físico, un sistema nervioso, y está corhpuestó de muchas partes, teniendo la facultad de aprender; además, cada una de dichas partes se esfuerzan en adaptarse a los cambios del medio ambiente.

La parte física del organismo fabril (la planta) se compone de edificios, equipo y personal, siendo esta componente la parte productora; sin embargo, no puede actuar eficientemente, sin una segunda componente, el sistema para planear, actuar, coordinar y controlar la actividad productora. Sin un sistema similar al sistema nervioso de los seres vivientes, el organismo de manufactura es completamente inútil y, como los organismos vivientes, las empresas son afectadas |xir los cambios y perturbaciones, tanto internos como externos, es decir, del medio ambiente, a los cuales deben adaptarse para lograr sus objetivos. Ambos tipos de organismos deben tener un sistema que ***registre*** los cambios y perturbaciones que afecten su comportamiento, que ***decida*** !a acción compensadora que deba tomarse, que ***instigue*** esta acción y que ***-realice*** este c icio sensorial, de decisión y de acción continuas como se muestra en el diagrama que aparece en esta página. Con tal sistema, el animal viviente siente los peligros que ponen en peligro su existencia, y actúa de acuerdo con las circunstancias que se presentan



[1] El trabajo del diseñador tiende hacia la maximización de la ganancia en la inversión, como una solución ideal aunque este objetivo sea poco probable de rerflizar. Además, este *no es* siempre el criterio fundamental.

•cada situación; la empresa de negocios debe hacer algo semejante con •Specto a los acontecimientos que amenacen su existencia, tales como •(maniobras de sus competidores, por ejemplo. En la práctica, el ftsempeño de una planta de manufactura está regido por un cierto número • sistemas de operación, entre los que podríamos citar a los sistemas Ifcra planear y controlar las ganancias, el movimiento de materiales, la pilización del equipo, la calidad del producto, el nivel del inventario, etc. Homo una ilustración a esto, la empresa debe decidir qué curso de acción prnará para examinar las ganancias, actuando después conforme a los planes •laborados; y, previendo las imperfecciones de los planes, la compañía

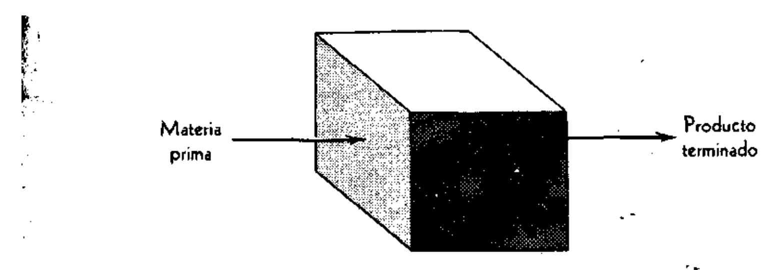


Figura 11. Formulación de "la caja negra" del problema de ingeniería industrial. ¿Cuál debe ser el contenido de esta caja a fin de maximizar la satisfacción obtenida por los propietarios?

siente la necesidad de cambiar el curso cíe la acción, decide ¡a acción ** compensadora que debe tomar, realiza esta acción, etc.

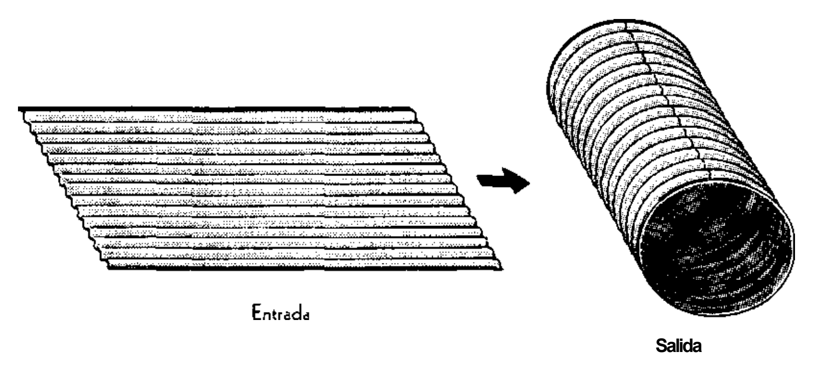
El ingeniero industrial es responsable del diseño de la planta y de los sistemas necesarios para operarla con éxito, pudiendo visualizar a este -medio ele producción, como una caja negra de contenido aún no especificado, con un consumo especificado de materiales y otros recursos, y una producción de los mismos materiales, en una forma nueva y de más aplicación, tal como se ilustra en la figura 11. La tareá del ingeniero industrial consiste en especificar el contenido de esta caja negra, siendo el resultado de sus esfuerzos una determinación importante de las ganancias que los inversionistas obtengan en su inversión; por \a consiguiente, ellos están interesados vitalmente en que el rendimiento del ingeniero industrial sea efectivo y completo.

Un problema de diseño. La gerencia de cierta compañía productora de acero decidió instalar una planta para fabricar tubería corrugada de acero, para alcantarillado en carreteras, lechos de ferrocarril y calles residenciales. La naturaleza del producto hace necesario un largo proceso de especificación, a fin de que las instalaciones de fabricación satisfagan sus requerimientos, conviniendo aclarar las ventajas que presenta el hecho de que este proceso se inicia con la decisión de la gerencia de invertir en ésta empresa, y termina con las especificaciones de toda la planta.

Análisis del mercado y dueño del producto. Después de haber hecho la decisión de iniciar el negocio, un equipo formado por ingenieros de pro-

ducto, ingenieros industriales y analistas de mercado, se encarga de estimar el potencial del mercado, de determinar los tipos y tamaños de tubería que se producirán y de estimar la cantidad que deberá producirse, de cada uno de los tipos y tamaños. (Posteriormente se mostraron los resultados de estos estudios.) Nótese la interdependencia de estas decisiones, así como de las que se mencionarán a continuación.

Fl papel de la ingeniería industrial en el proceso de toma de decisiones. La ingeniería industrial ha participado en la toma de las decisiones anteriores y tiene el derecho de apelarlas con respecto al diseño del producto y a la escala de producción; sin embargo, su principal responsabilidad comienza una vez que se han tomado estas decisiones. El problema primordial del ingeniero industrial consiste en encontrar el método para producir la tubería especificada, a partir de hojas de acero corrugado, en el volumen dado, que maximice la ganancia en la inversión. El problema puede visualizarse como sigue:



Éste es un problema complejo de diseño en gran escala, el cual en la práctica se maneja en varias etapas, de cada una de las cuales se encarga un especialista dentro del campo de la ingeniería industrial. A medida que se describa el diseño completo de la planta, se irán mencionando estas etapas y los especialistas encargados de ellas.

Especificación del método básico de manufactura, la ingeniería de manufactura. Una vez que se ha diseñado la tubería y que se ha decidido cuál será el volumen de producción, el énfasis se vuelve hacia la especificación de los pasos ***básicos*** de manufactura que se requieren para crear esta tubería. En la práctica, esta fase de la ingeniería industrial se conoce con el nombre de ingeniería de manufactura (ingeniería de la producción). El problema confrontado por el ingeniero industrial puede analizarse como sigue:

Estado B: **Tubería corrugada para alcantarillado en diámetros de 12, 24 y 48 pulgadas y longitudes estándar de 8, 12 y 16 pies. Estos, que se fabrican en tramos básicos de tubo de 2 pies de longitud, de los cuales 2 pulgadas se emplean para traslapes y remachado de las uniones.**

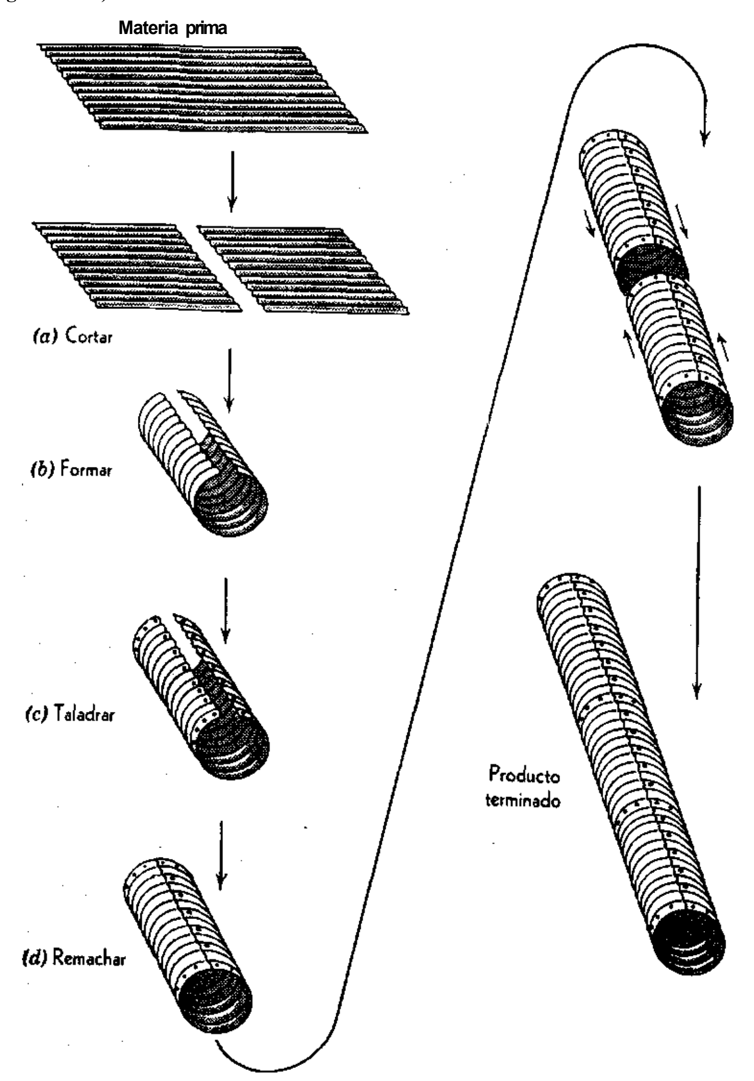
Estado A: **Hojas de acero galvanizado, corrugado, de 2 pies, X 2 pulgadas X 13 pies, calibre 16.** ,

Volumen: La capacidad de la planta deberá ser de 750,000 pies lineales por ño, distribuidos en proporciones desiguales (que no intervienen en nuestro problc- a), sobre varias combinaciones de diámetros y longitudes, con ciertas fluctuaciones stacionales esperadas y con un aumento gradual en la capacidad, tendiente al •olumen de los próximos 5 años.

Criterio: El criterio principal es la ganancia en la inversión.

Restricciones: La transformación de las hojas en tuberías de secciones cspccifica- 'as, requiere la ocurrencia de los siguientes eventos:

1. Las hojas planas de 2 pies y 2 pulgadas deben cortarse a la longitud apropiada figura 12a).



lívro 12. Etapas *necesurias para la fabricación y ensamble de* la tubería especificada, a partir de hojas corrugadas de acero galvanizado.

1			
Hoja de operación			
pi;;a; Tubería corrugada para alcantarilla		Fecha' ∞/∞	
Ine. de manufactura: R- R«y«		Aprobado: M. Puente	
No. de operación	Nombre de la operación	Máquina y equipo auxiliar	Producción esperada por hora
i	Cortar a tamaño	Cortadora de alcantarilla Bertsch	
∞	Enrollar	Molino de laminación Bertsch	
3	Ensamblar, taladrar y remachar	Taladradora de bocado y remachadora Bertsch	

Figura 13. Hoja de operación para la manufactura de tubería corrugada para alcantarilla. (La producción por Hora esperada se anota posteriormente, por el ingeniero de métodos.)

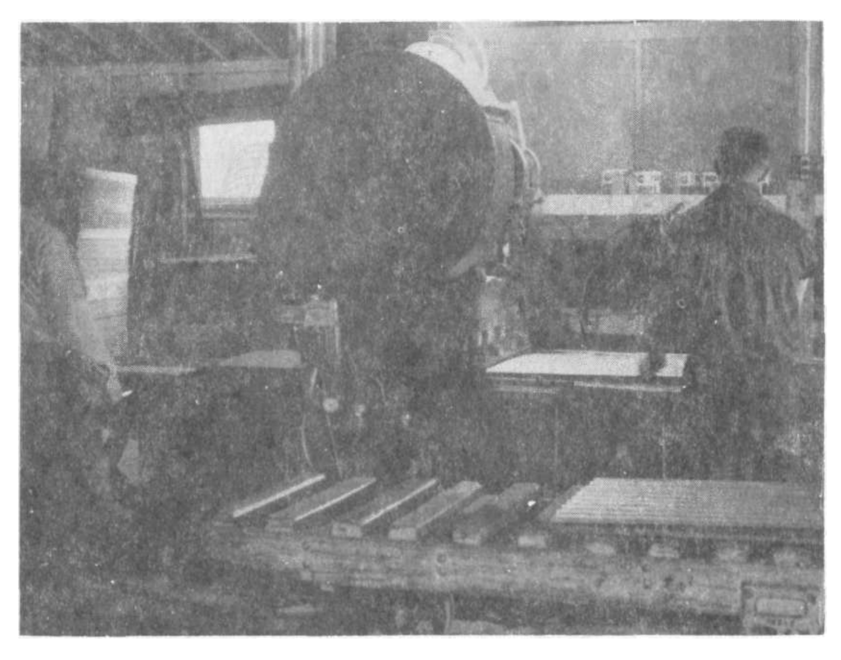


Figura 14. "Cortar al tamaño", operación inicial en la manufactura de tubería corrugada para alcantarillas. (Cortesía de Empire State Culvert Corporation, Groton, Nueva York.)

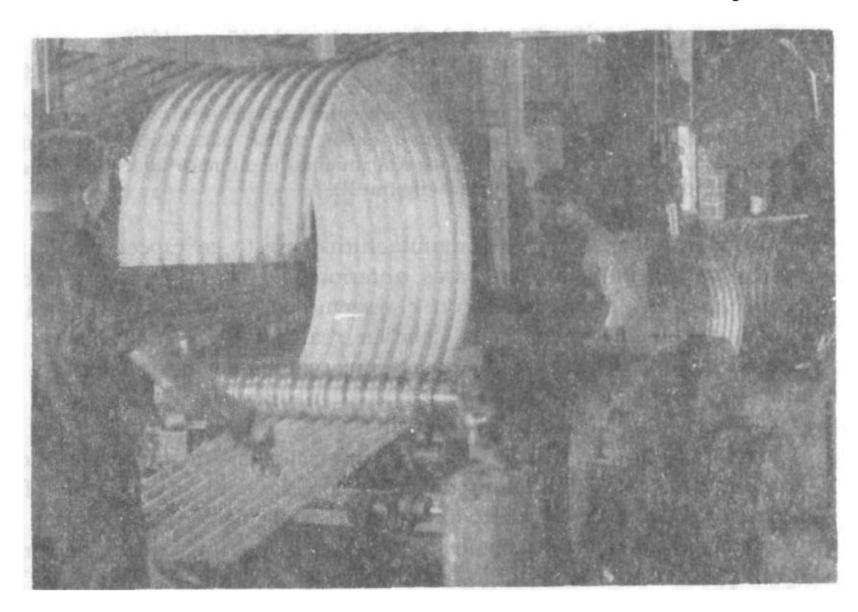


Figura 15. "Enrollado", la segunda operación en la manufactura de tubería corrugada para alcantarilla. (Cortesía de Empire State Culvert Co.).

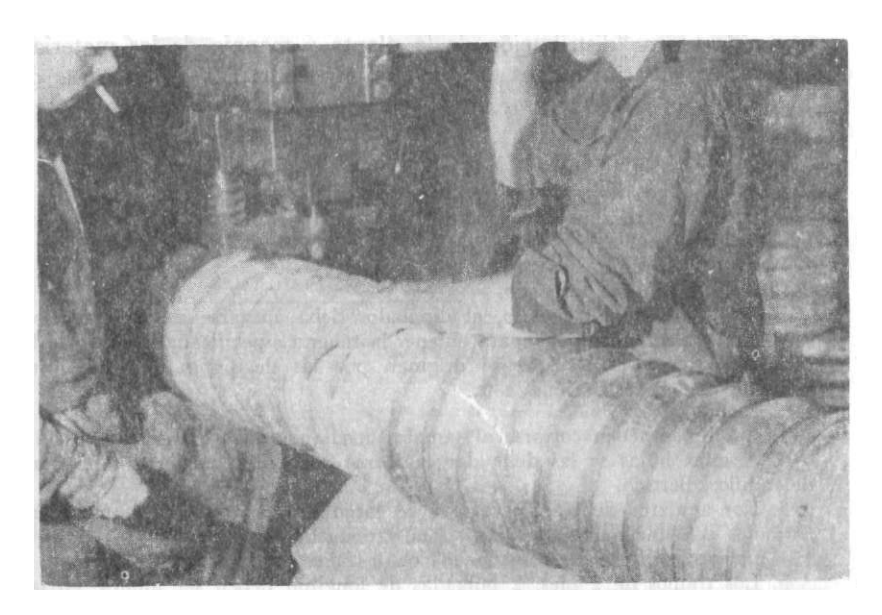


Figura 16. "Ensamblar, perforar y remachar", la tercera operación en la manufacturo de tubería corrugada para alcantarilla. (Cortesía de Empire State Culvert Co.l

2. A estas hojas se les debe dar la forma adecuada (figura 126).
3. Las perforaciones deben hacerse a los intervalos prescritos, a lo largo de Ja costura y alrededor de los *extremos* (figura 12c).
4. La costura debe asegurarse por medio de traslapes remachados (figura 12d).
5. Los tramos de 2 pies de longitud deben unirse para formar los tramos deseados, de 8, 12 y 16 pies. Esto se logrará uniendo el número adecuado de secciones por medio de traslapes remachados (figura 12e).

La tarea del ingeniero de manufactura consiste en especificar el proceso básico para completar los pasos anteriores, y durante la realización de esta etapa, en colaboración con el ingeniero de métodos, decidirá cuáles de las operaciones requeridas deberán realizarse con maquinaria, cuáles por los trabajadores y cuáles con una combinación de hombres y máquina, especificando al mismo tiempo la maquinaria, herramientas, utensilios y demás auxiliares que deberían usarse.

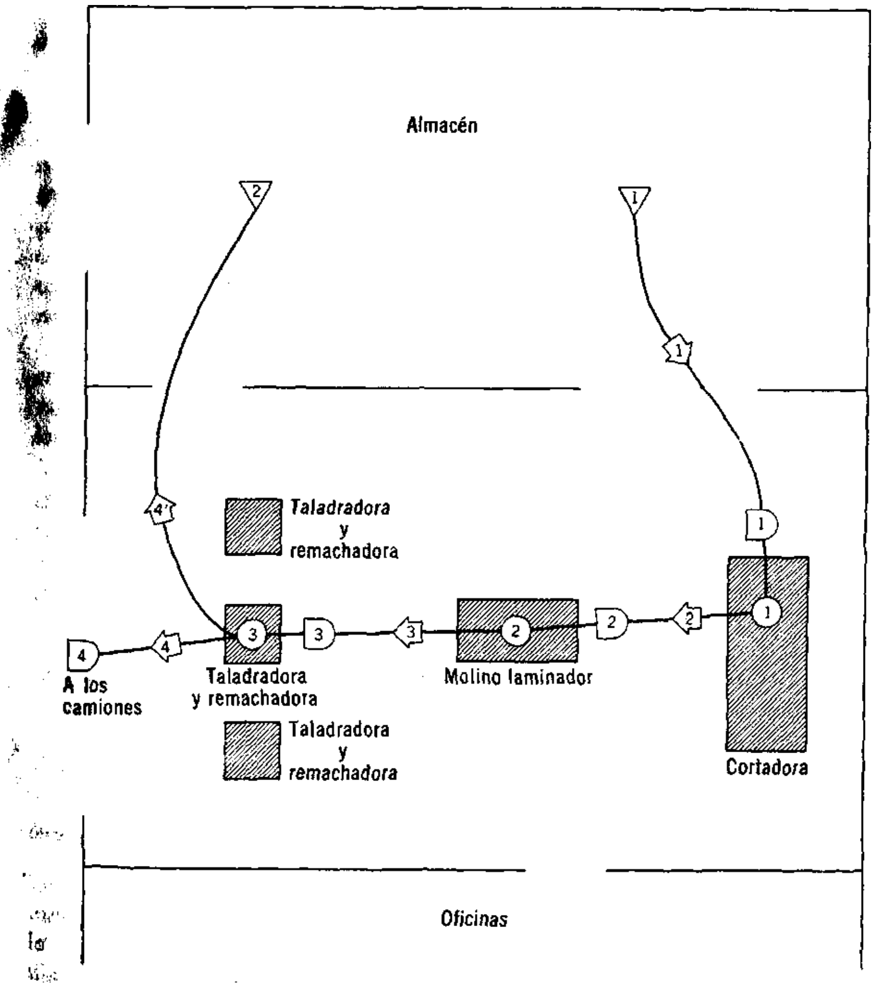
Los resultados de sus decisiones se informan en un documento conocido comúnmente como una hoja de operación, la cual sirve como referencia oficial con respecto al método básico de fabricación y ensamble de un producto, o de un componente del producto. La hoja de operación resultante para el caso en estudio, se muestra en la figura 13, y en las figuras 14, 15 y 16, respectivamente, se ilustran las operaciones "cortar a tamaño", "enrollar" y "ensamblar, taladrar y remachar".

Especificación del flujo de los materiales, distribución de la planta y manejo de materiales. Una vez que se ha especificado el proceso básico, la atención se enfoca en la especificación de la trayectoria física que el material seguirá a lo largo de la planta. Esta fase de la ingeniería industrial, conocida como "distribución de la planta y manejo de los materiales", es encomendada a ingenieros industriales, especializados en esta fase del problema total. En este caso, el problema puede analizarse en la secuencia que damos a continuación:

Estado A: **Las hojas, como se especificó anteriormente.**
Estado B: **Variación del diámetro y longitud de los tubos, conforme a lo especificado anteriormente.**
Volumen: **El fijado oportunamente.**
Criterio: **El mismo indicado.**
Restricciones: **En este caso, el diseñador debe apegarse a las restricciones que surgieron por razones físicas, para obtener la tubería especificada a partir de las hojas corrugadas, restricciones que se originan por las decisiones de este último. Por consiguiente, las restricciones son:**

1. Las hojas deben cortarse al tamaño, mediante una cortadora Bertsch. •
2. A estas hojas se les debe dar la forma requerida, mediante una laminadora de rodillos, Bertsch.
3. Los agujeros deberán hacerse a lo largo de las costuras y alrededor de los extremos con una máquina taladradora y remachadora Bertsch.
4. La costura debe ser remachada con la misma máquina.
5. Los tramos de 2 pies, 2 pulgadas de longitud deben ser unidos, en la misma máquina, para obtener las longitudes deseadas.
6. El material deberá transportarse del almacén, al lugar de almacenamiento de la tubería terminada, pasando por todas las operaciones intermedias.

La tarea del ingeniero especializado en la distribución de la planta y el manejo de materiales, consiste en especificar el arreglo físico de las instalaciones y de los métodos para transportar los materiales, a lo largo de la trayectoria que seguirán. En el problema que estamos tratando, se especifi-



íftsuro 17. **Diagrama de flujo para el proceso de manufactura de la** tubería (complemento **de la gráfica de flujo de la figura 18).**

Jí

¡Cará la localización de las hojas, las cortadoras, las laminadoras de ro-
Aillos, las remachadoras, y el lugar donde se almacenará la tubería terminada, como el método para manejar los materiales en proceso, entre estas ^localizaciones, mostrándose en las figuras 17 y 18 los resultados de esta fa- ^ ®n la toma de decisiones.

Especifica! ión de los nutodos de trabajo, la ingenioía </V métodos. Kl paso final y más detallado en la evolución del diseño completo de las instalaciones productoras, se refiere a la inclusión del operador humano al proceso, de una manera compatible con los objetivos de la compañía, cosa que realiza, por lo general, un especialista llamado ingenieio de métodos. Su responsabilidad consiste en diseñar, con detalle, el método

Diagrama de flujo

Manufactura dé tubería corrugada para alcantarilla

Simbolo	Descripción	Distancia
\r/	Materia prima en el almacén	
[.£>	Vagón a ia cortadora	90 pies
LD	Esperar en la cortadora	
O	Cortar a tamaño ¡figura 14)	
G[>	Vagón al molino	25 pies
[©	Esperar antes de dar forma a la lámina	
©	Formar (figura 15)	
[$>	Rodar sobre el piso	30 pies
[3)	Esperar para ensamblar	
©	Ensamblar, taladrar y remachar (figura 16)	
fí>	Traslado manual a la estación de	30 pies
[í>	embarque o a! almacén	90 pies
©	Esperar al camión	
	Inventario de artículos terminados	

Figura 18. Gráfica de flujo para el proceso de manufactura de la tubería (complemento del diagrama de flujo de la figura 17).

particular de traltajo para cada una de aquellas actividades del proceso, que requieren la participación del ser humano; para esto, especifica el ***procedimiento*** que seguirá el operador de cada máquina, la ***distribución*** de los materiales y herramientas en la estación de trabajo y la ***naturaleza del equipo*** con respecto al trabajador. Para este problema particular el ingeniero de métodos deberá especificar cómo debe manejarse el material, y ubicar las hojas cortadas y sin cortar en la cortadora (ver fig. 14) ; asimismo, cómo deberá cargarse y descargarse la máquina en la operación de enrollado (ver la figura- 15), así como también el ensamble de la tubería y el método para perforar y remachar (ver la figura 16). Por lo gene.i.il. problema del ingeniero de métodos es el de encontrar el método

Kpara producir la tubería especificada, que maximice la ganancia en la
• inversión, pero bajo todas las restricciones impuestas por las decisiones
Kde los especialistas que lo precedieron.

K Una vez que se han tomado las decisiones relacionadas con el proceso •^básico, la distribución de la planta y el manejo de materiales, la tarea E¡que persiste y que es responsabilidad del ingeniero de métodos, consiste en E.diseñar el proceso productivo, en el que intervenga el hombre.

E. Después de haber tomado estas decisiones, la instalación para producir queda completamente especificada; constituye esto la componente física del organismo completo requerido; sin embargo, además, debe especificarse .el sistema de planeación y control de la producción, el sistema de con- v trol de la calidad y otros más necesarios para la operación exitosa de la . planta. Algunos de estos sistemas de operación serían en realidad diseñados Conjuntamente con la actividad que acaba de describirse, ya que hay una j {.estrecha dependencia entre las decisiones concernientes a las dos compo- ri»entes.

«V Deberá observarse que las decisiones sucesivas en el proceso de especifi- e.cación mencionado, imponen restricciones adicionales a las especialidades ^ consecutivas; existiendo, no obstante, el derecho de apelar y de alterar p^AS decisiones previas.

P'– La discusión anterior sobre la ingeniería industrial y sus especialidades, q jndica el papel de la ingeniería de métodos dentro de la jerarquía de la . ¿ingeniería de una organización manufacturera. A continuación, se presen- ítan con mayor detalle el papel, objetivos y contenido de la ingeniería '¡de métodos.

INGENIERIA DE METODOS

r/Si.

'fljS-'uLa ingeniería de métodos se ocupa de la integración del ser humano adentro del proceso de producción. También puede describirse como el l¿ttise5o del proceso productivo en lo que se refiere al ser humano. La tarea c¿«onsiste en decidir ***dónde*** encaja el ser humano en el proceso de convertir e/«laterías primas en producto terminado ***y*** en decidir ***cómo*** puede el hom- fiifare desempeñar más efectivamente las tareas que se le asignan. Como una til,ilustración, considérese el ensamble de tubos electrónicos. Primero, debe (^ decidirse la función del operador humano dentro del proceso de ensamble. ai-Segundo, el ingeniero de métodos deberá especificar el método del tra- tíifeajo que deberá seguir un ensamblador, la ***distribución*** de herramientas, inmateriales y equipo en la estación de trabajo y el ***equipo*** (herramientas, ÍBí*ontroles, etc.) con el que el trabajador estará asociado. Cosa semejante tfideberá hacer con respecto al papel del Ifombre en las operaciones de ivnaaquinado, donde su mayor interés es la naturaleza y localización de controles y el procedimiento de operación; lo mismo hará con respec- f? a la inspección, empacado, manejo de materiales, mantenimiento, repa- vi>Ción, trabajo de oficina, limpieza y muchas otras operaciones donde

interviene el ser humano. Además, el ingeniero de método; tiene que ver con operaciones que cubren un amplio límite de tiempos de ejecución, volúmenes, grados de mecanización, niveles de habilidad, tipos de condiciones de trabajo y grados de repetición. El punto de vista de la ingeniería de método que aquí se recomienda, considera el papel del hombre en cualquier parte de la organización, desde el gerente hasta el último de los trabajadores. Sin embargo, el ingeniero de métodos tradicionalmente concentra sus esfuerzos en actividades manuales, completamente diferentes a actividades de naturaleza mental (que caracterizan al trabajo de supervisores, ejecutivos e ingenieros). En el material que sigue, haremos hincapié en esto, apegándonos a la tradición, no obstante que conceptualmente nuestro interés es mucho más amplio. Le corresponde a la profesión desarrollar un interés conceptual y eventualmente activo, en actividades no manuales, dado el potencial de reducción de costos implícito en ellas y lo complejo y crítico de este tipo de tareas.

Importancia de la ingeniería de métodos

, Los seres humanos tienen un papel crucial en la operación exitosa de una organización manufacturera, por lo que, justificadamente, la gerencia se interesa vitalmente en el desempeño efectivo de su personal, ya que el costo de la mano de obra continúa en aumento. No sólo aumentan los salarios sino que también el costo de contratar, adoctrinar y entrenar al trabajador, que en los Estados Unidos alcanza un promedio de 600 dólares, lo que es especialmente significativo, si se considera que en ese país el ausentismo alcanza un promedio de 35 por ciento, nacionalmente. Además, la mano de obra es muy importante para la utilización del equipo, pues una cosa es que un operario que gana 1.50 dls. por hora trabaje sin eficiencia y otra mucho más importante es que su máquina valuada en 20.000 dls. se utilice del mismo modo ineficazmente. En ese mismo país, la inversión en equipo y demás instalaciones fu.' de 15,000 dólares por trabajador en 1960. el triple de lo que fue en 1940 y continúa aumentando aceleradamente. Por consiguiente, la gerencia, debido a su interés natural en costos y ganancias, da una atención considerable al papel del ingeniero de métodos en el logro de una mayor productividad[2] del hombre y de las máquinas.

No obstante los conceptos erróneos generalizados, el hombre es todavía insuperable en la operación de una planta de manufactura y, en la gran mayoría de los casos, compite con la máquina muy favorablemente. Se requiere de instalaciones para mover, aplicar una fuerza, manipular, posicionar, etc., y en muchos de estos aspectos, el hombre es difícil de igualar; por lo que todavía tiene mucho que ver con el movimiento v procesado de materiales a través de la planta. De la misma manera,

[2] Son muchas y diversas las definiciones e interpretaciones de "productividad". En este caso será considerada como lo producido por hora-hombre.

se requiere de facilidades para hacer decisiones, para planear, razonar y dirigir actividades, y puesto que las máquinas no pueden competir todavía con el hombre en estas funciones, ni en las relacionadas con notar o "sentir" las desviaciones en programas y especificaciones, variaciones de condiciones, etc., esto hace evidente su importancia en cualquier proceso proc¡t«ctivo. Una situación similar existe con el medio de comunicación que es necesario entre la toma de decisiones, acción y las funciones detectoras de errores. Por todo esto, es evidente que el hombre es y será por ucho tiempo, una parte importantísima del proceso de producción en cualper tipo de planta

Además, a medida que aumentan la mecanización y la automatización el hombre aparece con menor frecuencia como una parte integral del oceso global, las funciones que el hombre realiza sirven para tomar cisiones, registrar irregularidades (monitor), identificar problemas que uieren el máximo de habilidad, velocidad, vigilancia y de funcionaento libre de errores. Una compañía que tenga un sistema de producción 'utomatizado" de 6.500,000 dls., se interesará vitalmente en mantener ta unidad operando la mayor parte del tiempo posible (en algunas mpañías, los sistemas operan un 75% del tiempo, habiendo un tremendo tencial de ahorros, en el 25% restante que el sistema permanece ocioso). ntonces, el hombre es un *eslabón* crítico en el sistema total, de tal manera "ue se le debe dedicar más atención ¡jara que su integración y utilización realicen con la máxima efectividad.

¡ludio de tiempos y normas de tiempo

El diseño culmina cuando se especifica la solución del problema en uestión, refiriéndose gran parte de dicha especificación a postulados *e las características de rendimiento esperadas, para la solución dada; ¡í, en el problema del diseño del puente, esto incluye cosas tales como vida esperada del puente, los costos de mantenimiento esperados, la irga máxima, etc. En el diseño de métodos, esto requiere especificar, entre otras cosas, el tiempo de producción esperado para el método especificado; por ejemplo, el tiempo requerido pa-a cortar una hoja para la tubería corrugada para alcantarilla, para enrollarla, para taladrar y remachar, etc. La determinación del tiempo de producción es muy importante ante los ojos de la mayoría de las gerencias, pues realmente es una parte tan 'decisiva de las responsabilidades del ingeniero de métodos que se le da un nombre y una atención especiales, denominándose esta fase de la ingeniería de métodos, como la medición del trabajo (estudio de tiempos), cuya finalidad productiva, y el tiempo estibado resultante, se le conoce como el estándar de tiempo, para la actividad en cuestión. Este estándar de tiempo es importante para propósitos de programación, presupuestos, establecer precios, pago de salarios, previsión de instalaciones, y así sucesivamente.

Resumen

La posición y alcance de la ingeniería de métodos se ilustra gráficamente en la figura 19, debiendo observarse que hay dos fases en la función de la ingeniería de métodos. La primera, llamada el diseño de métodos, consiste en el proceso de diseñar el método de trabajo, lo que efectivamente es una

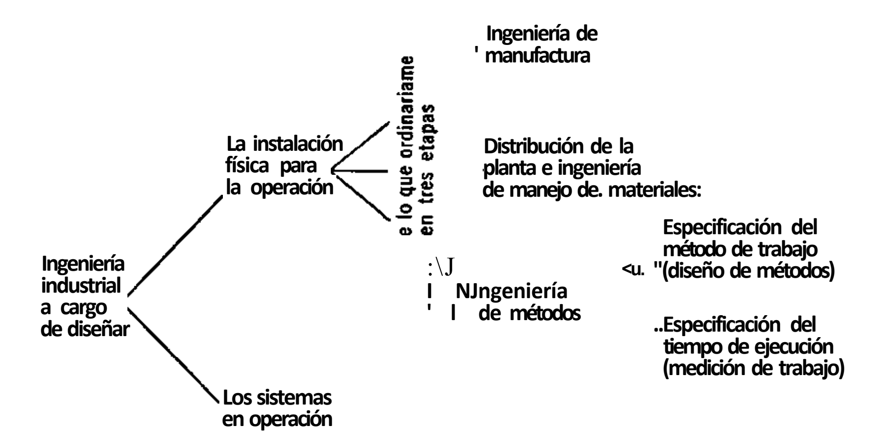


Figura 19. Resumen diagramático de la posición de organización y alcance de la ingeniería de métodos.

actividad de diseño. La segunda fase, el estudio de tiempos, es una consecuencia de la primera, ya que es una especificación de una característica de desempeño particular y especialmente importante en el diseño final, a saber, el tiempo de producción.

El estudio de tiempos se ha convertido en un procedimiento separado y en cierta forma especializado, debido a la importancia que el estándar de tiempo tiene para la gerencia de una empresa de manufactura. No debe-subestimarse el interés de la gerencia en el tiempo de producción tanto con respecto a su minimización, como a su medición.

En la parte III se enfatiza el diseño de método, mientras que en la parte IV se estudiará la medición de trabajo.

PARTE III

DISEÑO DE METODOS

Introducción al diseño de métodos; formulación y análisis de los problemas de diseño de métodos

Al igual que cualquier otra especialidad de la ingeniería, el diseño de métodos implica la aplicación del proceso de diseño, así como ciertos conocimientos y un conjunto de técnicas propias de dicha especialidad. Los conocimientos mencionados constituyen, ante todo, un conjunto de generalidades tendientes a relacionar al ser humano como parte importante

TABLA 2

Resumen del enfoque a un problema de diseño de métodos

El enfoque del diseñador de métodos se finca alrededor del proceso de diseño	Suplementado por
Formulación	
Análisis	**Ciertas técnicas analíticas exclusivas de esta especialidad.**
Investigación	**Los principios concernientes a las capacidades relativas del hombre y de las máquinas con respecto a los diferentes trabajos de producción, y los principios concernientes a los métodos preferidos para usar al hombre en el proceso de producción, distribución, equipo f procedimiento.**
Evaluación	**Las técnicas y los procedimientos especiales para la evaluación de los diversos métodos de trabajo posibles.**
Especificación	**Los medios especiales, el lenguaje y los símbolos asociados con la descripción y comunicación de los métodos de trabajo.**

del Proceso productivo. Las técnicas especiales se usan en el análisis 'lición y comunicación de la actividad manual. En la tabla 2 se ^"estra un panorama general del diseño de métodos y, en este capítulo f5, como en varios de los siguientes, se desarrolla el contenido de dicha 'aj describiéndose en ellos la aplicación del proceso de diseño y su pación a lo la*rgo del diseño de métodos de trabajo.

Longitud relativa		Elementos	Símbolos
El más largo	(a) Elementos de un proceso	Operación	○
		Transporte	⇨
		Inspección	□
		Retardo	D
		Almacenaje	▽
	(b) Los elementos más grandes de una operación	Atención a la máquina	*S*
		Máquina en operación	*R*
Aumenta el tamaño y la duración	(c) Elementos de tamaño intermedio de una operación	Tomar	*G*
		Colocar	*P*
		Ensamblar	*A*
		Usar	*U*
		Sostener	*H*
	(d) Los elementos más pequeños de una operación	Alcanzar	*R*
		Sujetar	*G*
		Mover	*M*
		Ubicar	*P*
		Soltar	*RL*
		Girar	*T*
		Retardar	*D*
El más corto		Sostener	*H*

Figura 20. Muestras de varios conjuntos de elementos de trabajo arreglados con respecto al tamaño.

AJE Y LOS SIMBOLOS ESPECIALES EMPLEADOS INGENIERO DE METODOS

fase de especificación, en particular, y el proceso del diseño de en general, se complementan con un lenguaje estandarizado lente con símbolos, usado en la descripción y la comunicación de de trabajo. Este lenguaje incluye varios conjuntos estándar de "ele- a partir de los cuales es posible describir más rápida y efectiva- la secuencia de una actividad productiva.
5 conjuntos de elementos se resumen en la figura 20, aprecián- los elementos se clasifican por tamaño desde subdivisiones im- ites del proceso general, hasta movimientos particulares de las manos **os.**

-titos de un proceso

, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (A.S.M.E.) estableció njunto estándar de elementos y símbolos para procesos, los cuales se an en la figura 20a. A continuación, se muestran esos elementos significado correspondiente.

Operación

Una secuencia de actividades o eventos que ocurren en una máquina o en una estación de trabajo, durante la cual se alteran intencionalmente una o varias de las características de un objeto.
Por ejemplo, llenar sacos con forraje, coser los sacos, cortar hojas corrugadas de metal, enrollar hojas metálicas, tal ***como*** se indica en las figuras 2 y 17, en las páginas 40 y 95. '

transporte

Los movimientos de un objeto de un lugar a otro, excluyendo el rpovimiento que es una parte integral de una operación o inspección. Por consiguiente, las transportaciones ordinariamente se efectúan entre operaciones, inspecciones, retrasos y almacenamientos. Por ejemplo, el movimiento de sacos con forraje entre las operaciones de pesado y cosido, entre la operación de cosido y el almacén, entre el almacén y el camión repartidor, etc.

Inspección

La comparación de una característica de un objeto con respecto a un estándar de calidad o de cantidad. Por ejemplo, verificar el peso de los sacos con forraje, es una inspección.

í'~) Retardo

Ocurre un retraso cuando al terminar una operación, transportación, inspección, o un almacenamiento, el elemento siguiente no se inicia de inmediato. En las figuras 2 y 17 aparecen numerosos ejemplos de retrasos.

\/ Almacenaje

La retención de un objeto en un estado y lugar, en donde para moverlo se requiere de una autorización. Los sacos con forraje se encuentran en el almacén en un estado de almacenamiento, de la misma manera que las hojas corrugadas de acero y la tubería terminada (figuras 2 y 17).

Los elementos más grandes de una operación

Una operación o inspección puede analizarse en términos de ciertos conjuntos estándar análogos a los elementos de la ASME introducidos previamente. Los elementos más grandes en que puede analizarse una operación son "servicio a la máquina" y "máquina en operación", figura 20b. Con frecuencia el elemento servicio consiste en remover de la máquina el material terminado, en cargar la máquina con material nuevo y en poner en marcha la máquina. El elemento máquina en operación es por lo general aquel período de tiempo durante el cual la máquina procesa el material. Otros conjuntos similares de elementos encontrados comúnmente y que pertenecen a la misma categoría son:

Descargar la máquina *(D)*, cargar la máquina (C) y máquina en operación (O), preparar, hacer y alejar.

Elementos de tamaño medio de una operación

Los conjuntos de elementos más útiles en esta categoría se conocen como "tomar y colocar". El análisis de una operación en términos de estos elementos se llama "análisis de tomar y colocar". Los elementos que se usan en este tipo de análisis se resumen en la figura 20c y se definen como sigue:

Tomar (T). El acto de alcanzar y asegurar el control de un objeto, por ejemplo, alcanzar y tomar un lápiz del bolsillo.

Colocar (C). El acto de mover un objito hacia una posición determinada; por ejemplo, mover al lápiz desde el bolsillo y ponerlo sobre el papel en posición, listo para escribir.

Usar ([/). El acto de emplear una herramienta, instrumento, etc., con el objeto de realizar un propósito útil; por ejemplo, escribir con lápiz.

Ensamblar (£). El acto de unir dos objetos de la manera deseada; por ejemplo, colocar una bisagra en una puerta, un sello postal a una carta, o una tuerca a

un perno. (Si la unión se puede lograr simplemente dejando caer un objeto dentro o sobre otro, el acto se clasifica como colorar.)

Sostener (ST). El acto de detener un objeto con una mano, mientras que la otra se prepara a realizar cierto trabajo *en* ese objeto; por ejemplo, aplicar presión sobre el papel con una mano mientras que con la otra se escribe.

Los elementos más pequeños de una operación: análisis de movimientos

Existen varios conjuntos de elementos que son populares dentro de una categoría del movimiento. El análisis de una operación en términos de movimientos individuales del operador, se conoce como análisis de movimientos o "análisis microscópico".

TABLA 3

Elementos para el análisis microscópico de la actividad manual

Movimiento	Símbolo	Definición	Ejemplo
Alcanzar	*A*	Movimiento de la mano o de los dedos sin cargar, terminando cuando la mano está aproximadamente a 2 cm del objetivo.	Mover la mano hacia el lápiz dentro del bolsillo preparándose para sujetarlo.
Sujetar	*S*	Movimiento por medio del cual se asegura el control de un objeto, con los dedos.	Colocar los dedos alrededor del lápiz en el bolsillo, y aplicar presión.
Mover	M	Movimiento de la mano o de los dedos bajo carga, terminando cuando el objeto está aproximadamente a 2.5 cm del objetivo.	Mover el lápiz hacia el papel,
Ubicar	*U*	Perder el control sobre un objeto sujetado previamente con los dedos.	Dejar de aplicar la presión de los dedos sobre el lápiz después de regresarlo al bolsillo.
Soltar	*SO*	Movimientos relacionados en orientar, colocar y enfrentar un objeto con otro.	Mover la punta del lápiz hacia el lugar exacto donde se empezará a escribir.
Voltear	*V*	Movimiento que requiere rotar el antebrazo con respecto a su eje mayor.	Movimiento que se requiere para hacer girar la perilla de una puerta.
Retrasar	*R*	Movimiento dubitativo de la mano mientras se espera que algún acto o evento terminen.	Espera de la mano izquierda mientras la derecha busca el lápiz dentro del bolsillo.
Sostener	*S*	El acto de detener un objeto con una mano mientras se realiza un trabajo sobre un objeto.	Detener el perno con la mano izquierda mientras que con la derecha se le coloca la tuerca.

El conjunto de elementos "microscópicos" que aquí se recomiendan, se presentan en la tabla 3; elementos que se relacionan de la siguiente manera con los elementos de "tomar y colocar":

Tomar { Alcanzar
Sujetar

{ Mover
Ubicar
Soltar

Ensamblar
Usar { En un análisis microscópico, ensamblar y usar deben describirse en términos de los movimientos mencionados anteriormente.

Un conjunto de 17 movimientos conocidos como "therbligs" han servido tradicionalmente como base para el análisis microscópico de operaciones. Sin embargo, el detalle y número de los movimientos incluidos en el sistema therblig, así como el hecho de que no se dispone de valores predeterminados del tiempo de ejecución para los therbligs, hace a este conjunto de movimientos menos útil que las series de movimientos introducidos en la tabla 3. Estos tiempos se proporcionan en la forma de un sistema especial llamado métodos para la medición de tiempos, y conocido popularmente como MTM. Este sistema se describe en el apéndice A. De aquí en adelante nos referiremos al conjunto de movimientos mencionados en la tabla 3 como los elementos MTM.

En general, los elementos de "tomar y colocar" parecen ser lo suficientemente detallados para el análisis de una operación, ya que en tanto que el propósito sea puramente descriptivo y cualitativo, los elementos de "tomar y colocar" son suficientemente pequeños y se aplican rápidamente. Proporcionan la mayor parte de los beneficios de un análisis más detallado y que consuma más tiempo. La única justificación aparente para analizar a una actividad en términos de los elementos microscópicos más detallados, es que se haga uso de los valores de tiempo predeterminados que se pueden encontrar con algunos conjuntos de movimientos. Por consiguiente, se recomienda el uso de los movimientos MTM más que el de los "therbligs".

MEDIOS ESPECIALES DE DESCRIPCION Y COMUNICACION USADOS POR EL INGENIERO DE METODOS

El proceso de diseño de métodos, se suplementa con una serie de técnicas especiales para la descripción y comunicación de los métodos de trabajo con el propósito de especificar, informar, registrar, presentar, visualizar, explicar y mejorar el método. La mayoría de estos auxiliares utilizan el lenguaje y los símbolos especiales mencionados antes. Algunos consisten

en un diagrama, el cual ofrece un cuadro condensado y simplificado del sistema o procedimiento que se describe.

Auxiliares esquemáticos del diseñador de métodos

Se conocen como auxiliares esquemáticos, a los que ayudan a la descripción y comunicación en diseños de métodos y que se basan en alguna forma de diagrama. Estas técnicas incluyen el diagrama de flujo, el diagrama de precedencia, la gráfica del proceso de operación, la gráfica

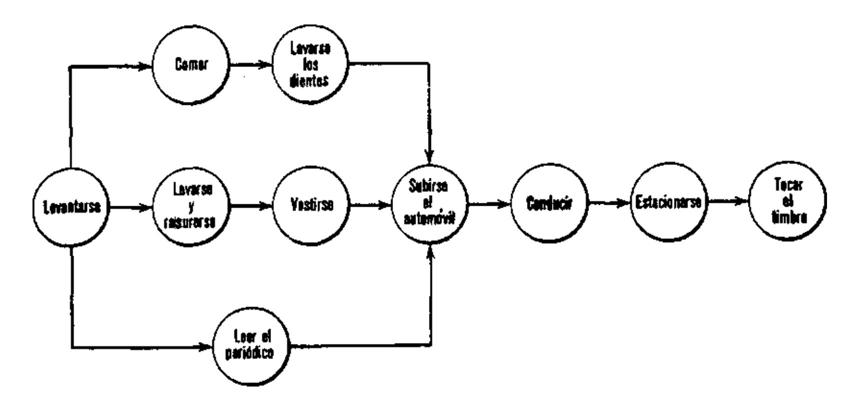


Figura 21. **Diagrama de precedencias.**

de hombre-máquina, la gráfica simo y el diagrama de frecuencia de viajes.

El diagrama de flujo. Un diagrama de flujo incluye un plano del área de trabajo considerada, un diagrama que indica la trayectoria seguida por el objeto que se estudia y los símbolos de análisis de procesos de la ASME, colocados en este diagrama lineal para indicar lo que sucede al objeto a su paso por el proceso. Las figuras 2 y 17 (páginas 40 y 95) proporcionan ilustraciones del diagrama de flujo. Este auxiliar es particularmente útil porque proporciona una vista compacta y general de un proceso, en existencia o propuesto. ,

El diagrama de precedencia. En la mayoría de los sistemas de producción existen ciertas tareas o elementos de trabajo que deben preceder a otros, tal como sucede, por ejemplo, con la tarea de vestirse, unas prendas se ponen antes que otras. Un medio útil'de sintetizar estos requerimientos de precedencia lo constituye el diagrama de precedencia que se muestra en la figura 21, para el proceso que por lo general se efectúa desde que una persona se levanta de la cama hasta que llega al trabajo.

Este diagrama indica que, ante todo, la persona en cuestión debe levantarse, antes de cualquier otra actividad; que debe lavarse y afeitarse antes de vestirse, debe vestirse antes de subir al auto, pero puede

comer y cepillarse los dientes en un tiempo cualquiera comprendido entre levantarse y subir al automóvil, etc. Otra ilustración se muestra en la figura 110 del capítulo 22. Este diagrama es útil como un medio de aislar,

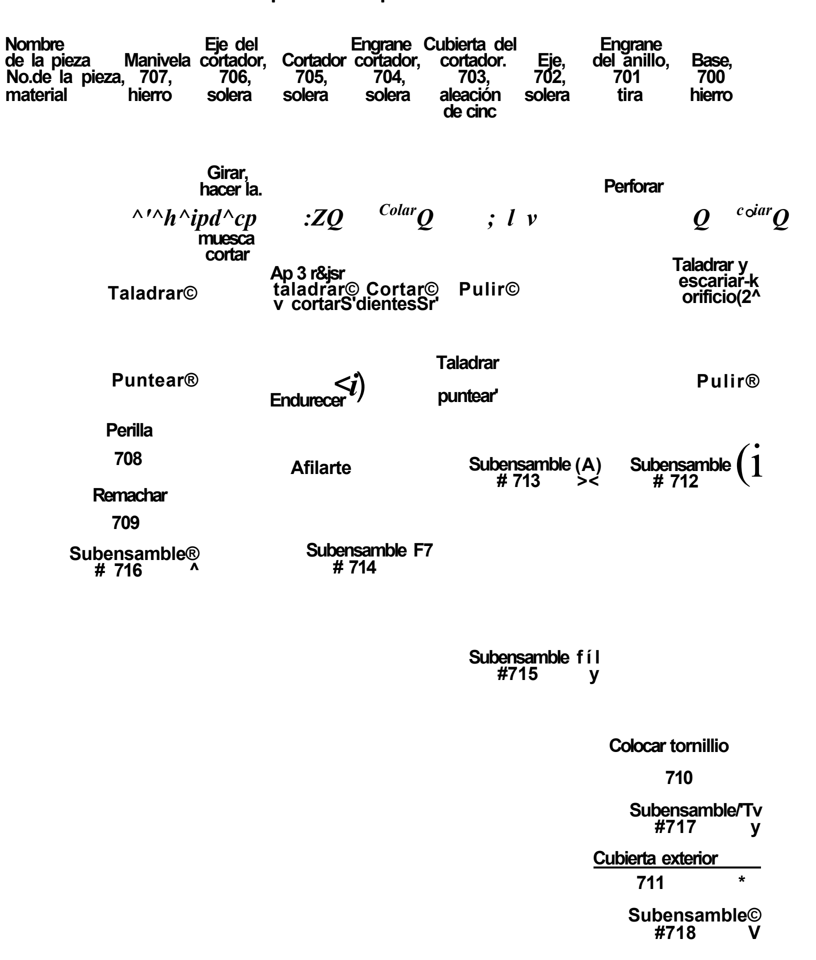


Figura 22. Gráfica del proceso de operaciones que sintetiza el proceso de manufactura requerido para producir un sacapuntas,

condensar y resumir las restricciones de precedencia a las cuales uno debe adherirse en el curso de modificar una secuencia de eventos o de tareas, como cuando se trata de equilibrar las asignaciones de trabajo a lo largo de una línea de producción o en una cuadrilla de trabajo.

Gráfica de operaciones del proceso. Esta gráfica muestra, por lo general, los materiales al entrar al proceso, las operaciones que se realizan y el orden de ensamble, tal como se ilustra en la figura 22. Nótese que los materiales en los cuales se realizan las operaciones se mencionan en la parte superior. Las operaciones y las inspecciones se indican con los símbolo-- apropiados de la ASME y las piezas compradas [1] se muestran en el punto en que se usan.

Los materiales que entran al proceso se indican, por lo general, ron líneas horizontales; mientras que el proceso de estos mai '"¡ales se indica i-erticalmente.

Esta gráfica tiene una gran variedad de usos, el más importante de los cuales es proporcionar una vista compacta y general de todo el sisu-ma de operaciones relacionadas con la manufactura de un producto. Esta gráfica es particularmente valiosa para el ingeniero que intenta obtener éste panorama general, cuando se ve agobiado por el volumen de hojas de operación. Estas hojas describen el proceso completamente en lo que se refiere a los detalles del método básico de manufactura, pero no proporcionan una vista global sin la ayuda de la gráfica de operaciones del proceso, ljsta gráfica es un auxiliar valioso en el trabajo de la distribución de la planta, como un resultado de la perspectiva general que ofrece y del hecho de que su elaboración familiariza rápida y efectivamente al diseñado; con el proceso de manufactura completo y con el producto. F.s útil también para el ingeniero de manufactura quien se encarga de especificar el sistema básico de manufactura; asimismo para el programador quien debe tomar en cuenta la secuencia del ensamble, claramente mostrada en la gráfica; para programar las fechas de llegada de los materiales comprados, las fechas en que se deben terminar las piezas manufacturadas y Tiara preparar las operaciones de ensamble intermedias. Es útil, también, como Un ***auxiliar educativo,*** por ejemplo, el entrenamiento del nuevo persona! técnico, de los vendedores o del personal de mantenimiento.

Gráficas de actividad múltiple. Este tipo de auxiliar, describe gráficamente las relaciones de 2 o más secuencias simultáneas de actividades, para la misma escala de tiempo. L[T]na gráfica de ***este*** tipo que describe la actividad de un hombre y de la(s) máquina(s) que él atiende, se conoce Con el nombre de ***gráfica de hombre-máquinq..*** Esta gráfica se ilustra en la figura 23a para un operador y una máquina, en la figura 2'>/; para un operador y dos máquinas y en la figura 23c para un operador y tres máquinas. Para cada alternativa se indican el anearlo físico ; ;obabIe de las máquinas y la trayectoria seguida pqsr el operador a medida que Completa su ciclo. Nótese que esta gráfica describe un cielo completo de actividad; y que mientras se eliminen los ciclos normales de marcha y paro, se puede seleccionar arbitrariamente un punto inicial \ las ac!:-vidades subsecuentes se grafican hasta que se vuelva a alcanzar ese punto, volviéndose a repetir el ciclo.

[1] **Las piezas compradas a un proveedor externo y ensambladas diivi nimentc. sin operaciones posteriores por la compañía involucrada.**

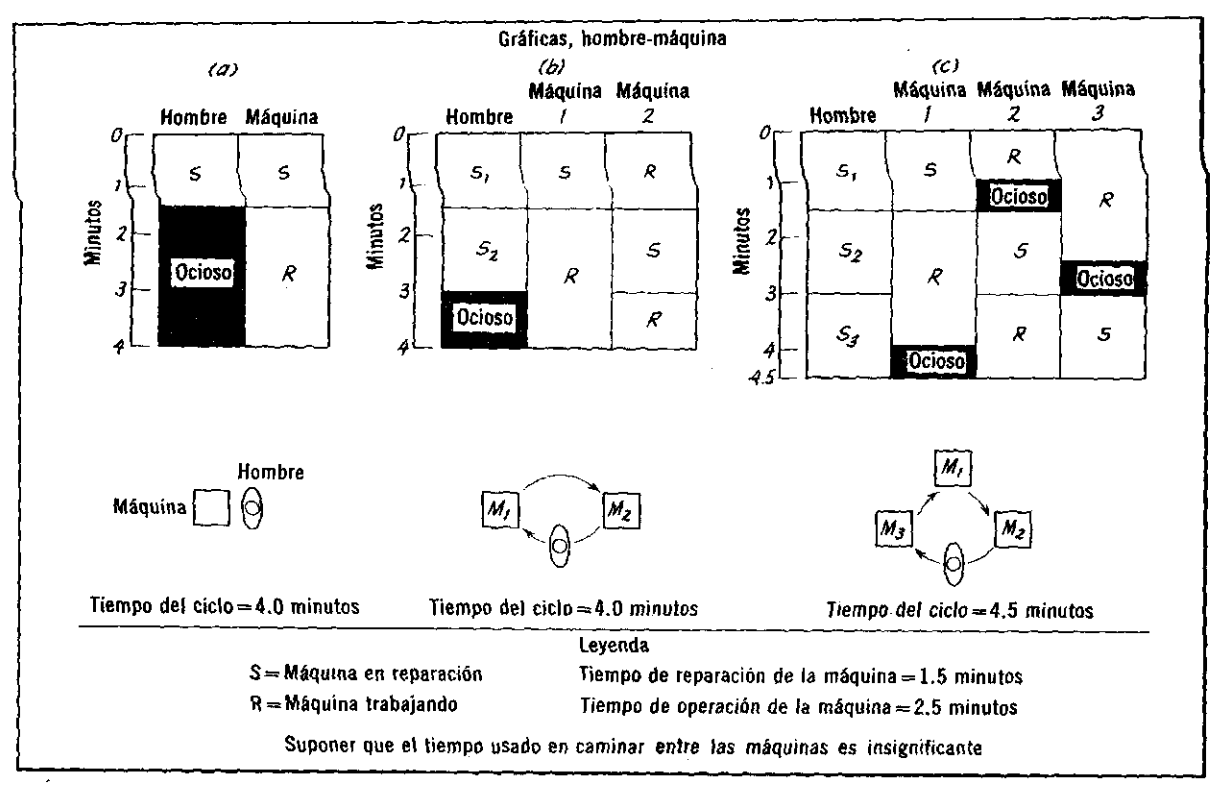


Figura 23. Gráfica de hombre-máquina que señala tres diferentes asignaciones de maquinaria a un operador.

La figura 23 ilustra el uso principal de la gráfica hombre-máquina, el -al consiste en señalar las consecuencias de variar las asignaciones de ma- saría *antes* de decidir cuál es el número de máquinas que un hombre ede operar. Para hacer asignaciones de maquinaria múltiple, como se dica en las figuras 236 y 23c, es esencial que la máquina esté libre cualquier necesidad para inspección o mantenimiento, durante la por- ÍÓn del ciclo en el que esté operando, y que *io existan consecuencias rentables caso de que el operador se retrasara y no estuviera pre- nte al terminar el trabajo de la máquina. Existen numerosas piezas de guipo común que satisfacen estos requerimientos.

En la construcción y uso de tales gráficas generalmente se supone que Ips tiempos de operación y de mantenimiento de la máquina son constantes, lo que ordinariamente no es cierto, especialmente respecto al tiempo de mantenimiento y reparación. En un capítulo posterior, se discuten los Afectos que sobre los sistemas múltiples de hombre-máquina tiene la variación del tiempo de reparación y mantenimiento.

Existe otra versión especial de la gráfica de actividad múltiple que describe las actividades simultáneas de las manos de un trabajador durante ijma operación. Cuando esta técnica se aplica de esa manera, se conoce Con el nombre de ***gráfica SIMO,*** la que se ilustra en la figura 24 y se construye siguiendo el procedimiento que se menciona a continuación:

1. Se filma con una cámara ordinaria la operación estudiada, y se usa un reloj de alta velocidad que se coloca en la estación de trabajo, para poder registrar en la película, simultáneamente, el tiempo y las acciones del trabajador. El reloj no es necesario si se usa una cámara de velocidad Constante; en este caso, la cámara sirve para medir el tiempo. (La velocidad de la mayoría de las cámaras comunes, es suficientemente constante y no se requiere el reloj.)

\ 2. La película se inspecciona cuadro por cuadro, para determinar las Acciones que se efectúan y su tiempo de ejecución.

; 3. Estos tiempos se grafican como se indica en la figura 24.

j La utilidad principal de esta gráfica SIMO, consiste en que descubre las mejoras posibles de la operación en estudio, revelando cuando las tnanos están innecesariamente ociosas, las secuencias óptimas de movi- faientos, etc.

i •

; Esta gráfica no se usa mucho en la práctica, ya que en su construcción **le** consumen mucho tiempo y dinero, y por consiguiente, su uso está indicado únicamente después de emplear medios más económicos para mejorar la operación. Su uso se justifica si después de haber aplicado los medios mencionados, se descubre que se puede reducir el tiempo de ejecución, y si la operación es muy costosa como resultado del volumen involucrado. Unicamente cuando se trata de un gran volumen de producción, es probable que las pequeñas reducciones en el tiempo de ejecución proporcionarán ahorros sustanciales en el costo de mano de obra que

justifiquen el costo relativamente alto que implica el uso de la gráfica SIMO.

No obstante su limitado uso en la mejora de métodos, esta gráfica es un auxiliar muy útil en el entrenamiento, como un medio para inculcar a los entrenados la idea consciente de la economía, de los movimientos.

La idea implícita en la gráfica de actividad múltiple, se puede aplicar a las actividades simultáneas de 2 o más hombres, así como a las acti-

Carta simo

Operación: *Ensamblar asa del eje*	
Pieza *NA 37124*	Operador: *J. García*
Departamento: *Ensamble*	Fecha: *7/10*
Análisis: *J. Méndez*	Película No: *16-48*

Descripción de la mano izquierda	Tiempo en minutos	Símbolo	Escala de tiempo	Símbolo	Tiempo en minutos	Descripción de la mano derecha
Hacia el eje	0.007	R		D	0.007	
En el eje	0.016	G	0.010 0.020	R	0.016	*Hacia la llave*
	0.006	D	0.030	G	0.006	*En la llave*
Hacia el punto de ensamble	0.014	M	0.040	M	0.014	*Hacia el eje*
Sostener el ensamble		H	0.050	P	0.009	*En el eje*
Sostener el ensamble		H		RL	0.002	
Sostener el ensamble		H	0.060	R	0.009	*Hacia el cuello*
Sostener el ensamble		H	0.070	G	0.007	*En el cuello*
Sostener el ensamble		H	0.080	M	0.010	*Hacia el ensamble*
Sostener el ensamble		H		P	0.009	*En el ensamble*
Sostener el ensamble		H	0.090	RL	0.003	
Sostener el ensamble		H	0.100	R	0.008	*Hacia el desatornillador*

Figura 24. Ejemplo de la gráfica simo.

vidades simultáneas de hombre y máquina, o de mano derecha e izquierda. Por ejemplo, esta gráfica es muy útil al intentar lograr una equilibrio entre las asignaciones de trabajo a los miembros de una cuadrilla, en relación adecuada con la duración de los tiempos de las tareas efectuadas por ellos. Esto incluye a la cuadrilla de reparación de máquinas diesel, a las cuadrillas que trabajan en la construcción de carreteras, al cirujano y sus asistentes, al piloto y al copiloto y otras situaciones similares en que son importantes la distribución de las tareas y la medición de tiempos. La figura 25 muestra una gráfica de actividades múltiples para una cuadrilla de tres bomberos.

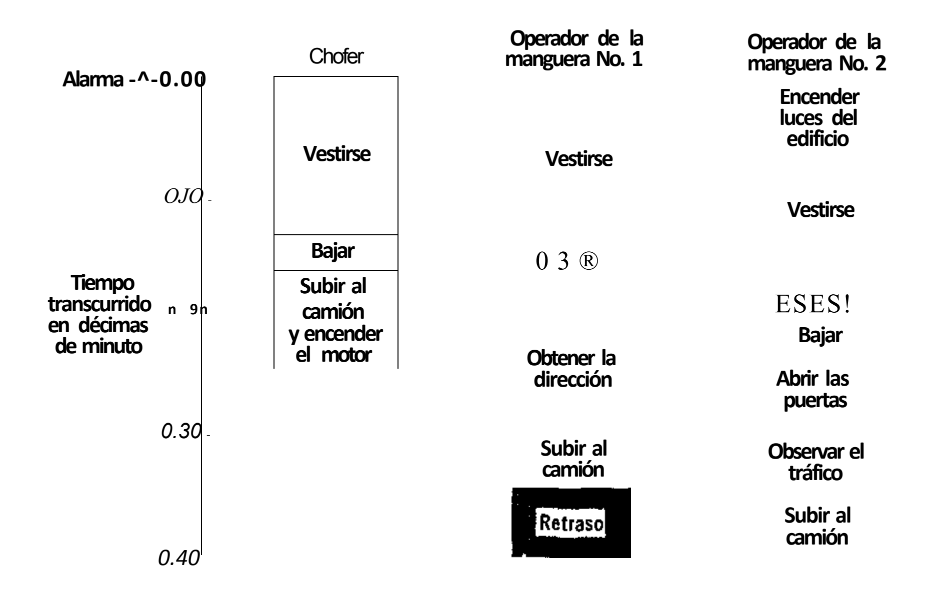
El ciñeres una auxiliar particularmente útil en el estudio de las actividades de las cuadrillas, pues permite registrar simultáneamente varias actividades. Las películas se pueden tomar a la velocidad normal de 16 fotografías por segundo de las cámaras comunes, o de preferencia a una velocidad más lenta y menos costosa. Dependiendo de las actividades estudiadas, puede ser suficiente una fotografía por segundo, una cada 5 segundos, o una cada minuto. Esta técnica de baja velocidad se denomina fotografía de baja velocidad. Un autor ha llamado a esta técnica, "Técnica de Memovimiento".[2] (Existen aditamentos que permiten transformar las cámaras de 16 mm en cámaras de baja velocidad.)

La idea de la gráfica de actividad múltiple se puede aplicar también al problema de balances de una línea de producción, pues realmente las cuadrillas de trabaje y la línea de producción son muy similares. La diferencia básica consiste en que en la línea de producción el trabajo se desplaza de un operador a otro, mientras que en la cuadrilla el trabajo es estático o se desplaza muy poco y los operadores se mueven alrededor del mismo. En ambos casos el programa consiste en equilibrar las asignaciones de trabajo y en satisfacer las restricciones de precedencia. La figura 26 ilustra una gráfica de actividad múltiple para una línea de ensamble final de bicicletas compuesta de cinco hombres; la gráfica es un auxiliar para establecer el balanceo en una línea de producción como ésta.

El diagrama de frecuencia de viajes. En muchos de los procesos con los que trabaja el ingeniero de métodos, no existe una secuencia fija de eventos, sino que en lugar del ciclo de elementos repetitivo presente en los casos mencionados hasta ahora, la trayectoria de los elementos varía con frecuencia, dependiendo del trabajo realizado y de las relaciones aleatorias de las actividades. Lo anterior es cierto en los procesos que se pueden encontrar en la cocina, en el taller, en la lavandería, el cuarto de herramientas, la oficina, la panadería y muchas situaciones más. En cada uno de estos casos se puede construir un diagrama de flujo para algún artículo particular en proceso. Sin embargo, muchos de los artículos pueden seguir trayectorias de flujo completamente diferentes,- por ejemplo, los artículos en reparación. Si la distribución del trabajo se basara en un

[2] **Marvin E. Mundel, *Motion and time Study,* 3ra. ed. Prentice-Hail, Englewood Cliffs, New Jersey, 1960.**

Gráficas de actividad múltiple, de una cuadrilla de tres hombres que contestan llamadas de alarma nocturnas



Figuro 25. **Gráfica de actividad múltiple para cuadrilla de tres bomberos que contestan** llamadas **de** alarma



Gráfica de actividad múltiple para el ensamble final de bicicletas

Estaciones a la largo de la línea de ensamble

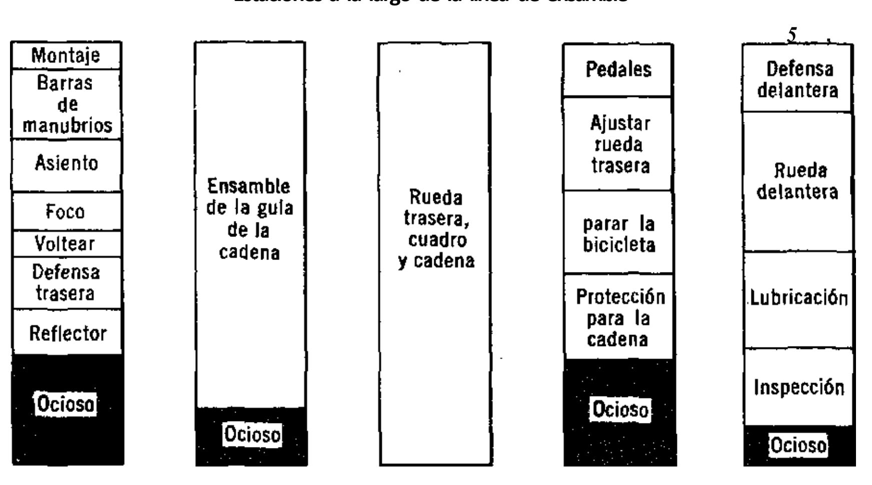


Figura 26. Gráfica do actividad múltiple para una linea de ensamble de bicicletas formada por cinco hombres.

artículo en particular, se obtendría un método poco eficiente para el resto de los artículos manejados en el mismo proceso. Por consiguiente, el proceso debe ser acondicionado en tal forma que sea óptimo para la ***mayoría*** de los artículos o productos, como en el caso de la cocina.

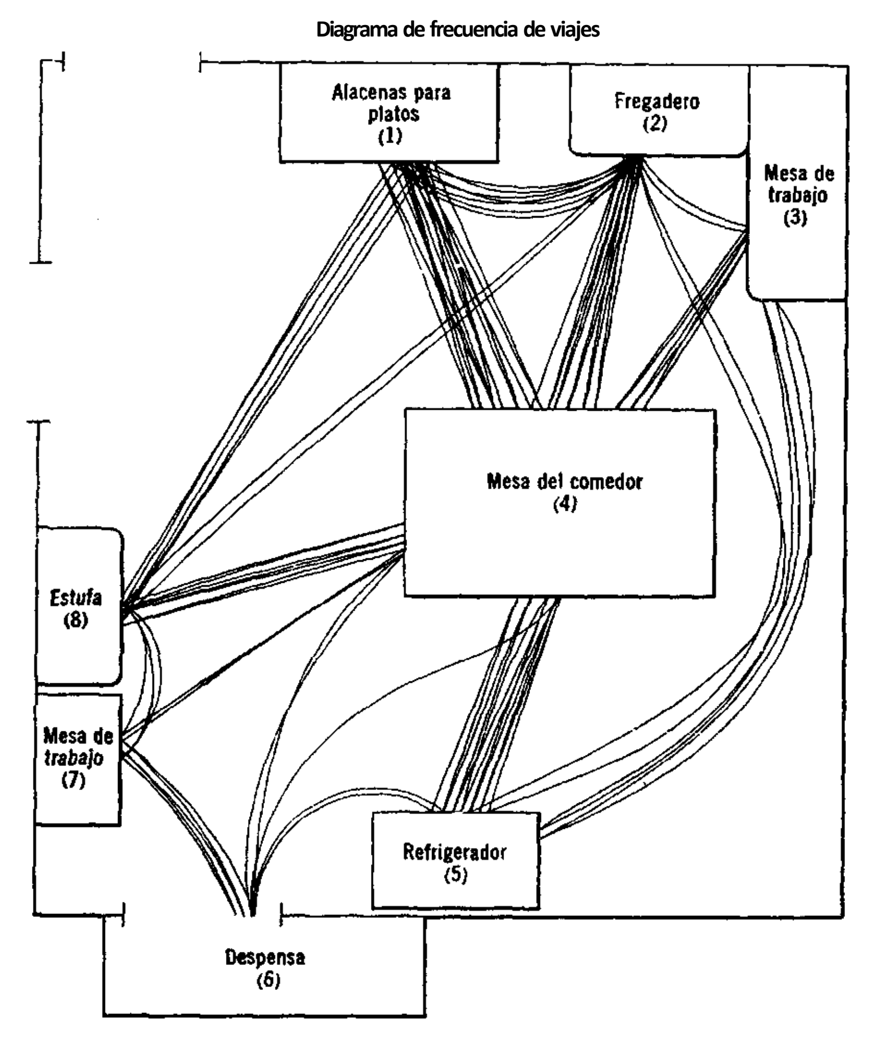
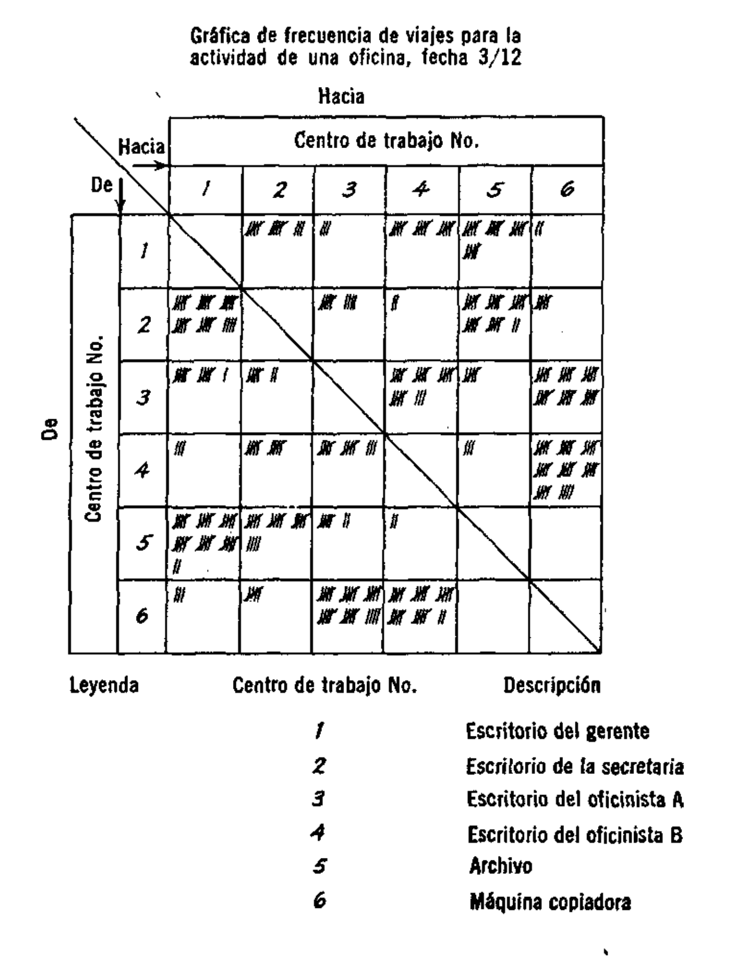


Figura 27. **Diagrama de frecuencia de viajes para la preparación de una comida.**

El diagrama de frecuencia de viajes es un medio para analizar la trayectoria de flujo en este tipo de situaciones, para estimar el recorrido total. El diagrama, que se ilustra en la figura 27, se obtiene al observar y registrar durante un cierto período de tiempo, los viajes que se hacen entre los centros de trabajo; así, por ejemplo, para lograr una distribución

aceptable en la cocina, es necesario observar un gran número de alimentos menús diferentes. La distribución final se deberá basar en la mayoría las observaciones. Si se supone que el objetivo principal consiste en



Gráfica de frecuencia de viajes para un período d» un día de observación en la oficina de un negocio pequeño.

2 * » » r la distancia total recorrida en tal caso, los componentes del "•fcBna deben arreglarse de tal manera que la suma siguiente sea un mínimo:

Distancia total recorrida = $/_u á_{1j2} + /_u á_u + f_{lfi}d_{lA} + ... f_{n»m}d_{»t»}$

GRAFICA DE FLUJO

RESUMEN

	Presente		Propuesto		Diferencia	
	NoJ	Tiempo	No.	Tiempo	No.	Tiempo
O Operaciones	*2*					
O Transportación	*S*					
T 1 Inspecciones	*1*					
13 Retrasos	*7*					
\/ Almacenajes	*2*					
Distancia recorrida	*367* Pies		Pies		Pies	

Proceso: *Armar pata de la mesa i 2 M*

CU Homore o Kl Material. *Arce de 2" X 8"*

La gráfica principia en *Almacén para madera*

La gráfica termina en *Almacén para madera*

Registrada pnr: *M.B.S.* Fecha

Detalles del) método	Operación / Transport. / Inspección / Retraso / Almacenaje	Distancia en pies	Cantidad	Posibilidades I Cambio/ Y7T M/g/g/*	Observaciones
1 *Almacén para madera*	oon				
2 *Carretilla*	O f^D V	*90*			
3 *En el piso*	o o d D v				
4 *Manualmente*	o c r o v	*SO*			
5 *En la mesa cercana a la sierra*	o o d D v				
6 *Cortar al tamaño*	O D D V				
7 *En la mesa*	o o o p v				
8 *Manualmente*	o o o d v	*60*			
9 *En él piso*	o o d D v				
10 *Dar forma en el torno para madera 3A*	C g > D D V				
11 *En el piso*	O O O p V				
12 *Carretilla*	O ^ j D D V	*82*			
13 *En le carretilla*	o o n p v				
14	O O C E V				
15 *En la carretilla*	o o d D v				
16 *Carretilla*	o m v	*85*			
17 *Almacén para madera*	o o d B v				
18	O O D D V				
19	O O D D V				
20	O O D D V				

Figura 29. El formato convencional para la preparación de una tabla de flu]o.

Disoffi le
nr'!oiJ><

bu (i-indc: d¡2 = la distancia entre los componentes (centros de trabajo) 1 y 2, y /i,2 = la frecuencia relativa de viajes efectuados entre estos dos componentes.

1Tna forma más conveniente de registrar la misma información, la constituye la gráfica de frecuencia de viajes, figura 28.

Otras técnicas descriptivas útiles para el diseñador de métodos

Las técnicas descriptivas presentadas hasta ahora se basan en alguna forma de diagrama; sin embargo, existen otras técnicas descriptivas, las que se usan comúnmente para propósitos similares; entre ellas podemos citar la gráfica de frecuencia de viajes, la gráfica de flujo y la gráfica de mano izquierda-mano derecha.

La tabla de frecuencia de viajes (hoja de conteo). En la figura 28 se ilustra, por medio de la tabla de frecuencia de viajes, la trayectoria seguida durante un día de actividad en la oficina de un negocio pequeño. Esta tabla se aplica a una gran variedad de problemas y puede usarse conjuntamente con el diagrama de frecuencia de viajes, o como una alternativa del mismo. Su aplicabilidad es mayor, a medida que aumentan las actividades de trabajo indirecto; por ejemplo, el rápido y continuo incremento del personal administrativo, las actividades de mantenimiento y reparación, y en las compañías de servicio.

La tabla de flujo. Esta tabla, que se ilustra en la figura 18, es una técnica tradicional y ampliamente difundida para el análisis de procesos. En Ja figura 29 de las págs. 120-121, se ilustra una versión usada más comúnmente. La tabla de flujo contiene en forma sistematizada la información que muestra un diagrama de flujo, y describe los elementos del proceso mediante los símbolos de la ASME, mostrando lo que ocurre al material cuando pasa a través del proceso, y opcionalmente, la forma en que se efectúan varios de los pasos.

Por supuesto, se debe incluir alguna otra información dependiendo del propósito y naturaleza particulares del proyecto.

Las finalidades de la tabla de flujo son similares a las del diagrama de flujo, sin embargo, debido a que la tabla de flujo carece de las características físicas del diagrama de flujo no proporciona un panorama general, como el contenido en el diagrama de flujo. En general, a igualdad de circunstancias, es preferible usar el diagrama de flujo.

La tabla de mano izquierda-mano derecha. Esta tabla es en realidad una tabla SIMO sin la característica ilustrativa de esta última. En la ilustración de una tabla de mano izquierda-mano derecha en la figura 30, se usan los elementos de "tomar y colocar"; sin embargo, los elementos de tamaño menor son igualmente aceptables en esta técnica.

No se recomiendan los elementos más pequeños ***si*** el análisis es únicamente analítico, como en el caso ilustrado en la figura 30. La construcción

la tabla de mano izquierda-mano derecha, con los movimientos como ementos, no sólo es justificable, sino esencial, si lo que se pretende es rovechar el conocimiento de tiempos previamente determinados median-

Gráfica *de* mano izquierda-mano derecha			
Pieza: *Ensamble de tuerca, peino y roldana*			
Operación: *Ensamble*			
Fecha: *7/31*		Analista: *G. Vargas*	
Usar el reverso de la hoja para esquemas			
Mano izquierda		Mano derecha	
Descripción	Símbolo	Símbolo	Descripción
Pcmc	*3*	*a*	*Roldana*
Perno dentro de la roldana	*P*	*P*	*Roldana en el perno*
Ensamble	*I1*	*6*	*Segunda roldana*
		P	*Segunda roldana*
		G	*Tuerca*
		x P	*Tuerca*
		A	*Tuerca*
	D	*P*	*Conduelo inclinado*

Figura 30. Tabla de mano izquierda-mano derecha para una operación sencilla de ensamble.

te un conjunto dado de elementos microscópicos, a fin de sintetizar el tiempo de una actividad dada.

Esta tabla es útil como un medio de comunicación del procedimiento de trabajo, a aquellos que deben juzgar, mejorar, o usar el procedimiento

seleccionado por el ingeniero de métodos; particularmente útil como un auxiliar en el adiestramiento de operaciones.

Usos generales de estas ayudas descriptivas

1. Facilitan la comprensión y entendimiento de la naturaleza o comportamiento general del sistema que se estudia. Los detalles del proceso de manufactura se pueden obtener a partir de registros oficiales, o por observación directa, pero la vista general del "conjunto" no se detiene fácilmente, de modo especial cuando el sistema todavía no existe. En la mayoría de los casos, el único medio de obtener una perspectiva compacta, global y simplificada del sistema o procedimiento completo, lo constituye un auxiliar visual diagramático, tal como el diagrama de flujo, la tabla de proceso de operación, y otras técnicas similares. Este enfoque diagramático es muy útil para el ingeniero, y debe cultivarse y ampliarse a otros campos y situaciones. Por ejemplo, se adapta admirablemente al análisis de sistemas complicados de comunicación que implican un flujo considerable del "papeleo", y una distribución complicada de información. Cuando esta técnica se usa con el propósito mencionado, se conoce como diagrama de distribución de formas (figura 123). La misma idea básica es casi esencial para el análisis de la estructura de la organización de una compañía, lo que conduce a la llamada tabla de organización. El ingeniero electricista, por simple sentido común, aplica la misma idea, en todos sus diagramas esquemáticos y de bloque, para una pieza complicada de equipo. El entrenador de fútbol usa el mismo esquema para explicar las jugadas a su equipo, ésta es una ilustración excelente del propósito y la utilidad de este enfoque diagramático. No se puede uno imaginar al entrenador tratando de explicar una jugada sin la ayuda del familiar diagrama de jugadas, describiendo verbalmente o por escrito, las asignaciones de los diferentes jugadores. Asimismo, es muy difícil visualizar la perspectiva general a partir de una serie de explicaciones sucesivas y detalladas de las partes individuales, tal como lo sería el problema de intentar visualizar el proceso global de manufactura a partir de un número de hojas de operación. Por lo tanto, los procedimientos diagramáticos merecen una aplicación y desarrollo considerables, especialmente si se considera la complejidad cada vez mayor de las máquinas y los sistemas.

2. Para comunicar un procedimiento, tal y como se requiere al especificar la solución de un problema de diseño de métodos. Por ejemplo, la tabla de mano izquierda-mano derecha, es adecuada para especificar el procedimiento que debe seguir el trabajador al ejecutar su trabajo.

3. Para proporcionar medios estándar y convenientes para registrar la información acerca de un proceso u operación.

4. Para proporcionar una fuente útil de información de "acceso rápido", en forma análoga a lo que ocurre con la tabla del proceso de operación, la

que puede aplicarse ventajosamente al trabajo de distribución de una planta.

' 5. Como auxiliar para entrenar y explicar al personal y visitantes no * familiarizados con el proceso en cuestión. (La experiencia ha demostrado 'que construir estos diagramas es un excelente medio de familiarización con 'la planta o proceso.)

6. Para indicar y facilitar la investigación de mejoras al método.

7. Para facilitar el análisis de un problema de manufactura, tal y como lo hace el diagrama de precedencia.

FORMULACION Y ANALISIS DÉ" PROBLEMAS DE DISEÑO DE METODOS

jj

, Un problema de diseño de métodos debe formularse y analizarse como ? se recomienda en los capítulos 3 y 4. Como una consecuencia de la jerarquía en la toma de decisiones usualmente existente dentro de cada .empresa manufacturera, el diseñador de métodos debe operar bajo numerosas restricciones impuestas por las personas que le preceden en esta jerar- . quía. Como una ilustración, el problema de un diseñador de métodos en j.el caso de una operación de ensamble, puede ser formulado como sigue: encontrar el método más económico de ensamblar varias piezas para obtener el producto diseñado. El diseñador, en un análisis posterior, encuentra que muchas de las restricciones son impuestas, por ejemplo:

1. Por ei diseñador del producto, en forma de especificaciones de las piezas componentes y del ensamble final.

2. Por el ingeniero encargado de la distribución de la planta, en forma de decisiones en cuanto a la localización en la que se instalará la operación de ensamble.

3. Por el ingeniero encargado del manejo de materiales, en forma de decisiones con respecto a la forma en que deberán entregarse las piezas a la estación de ensamble y respecto al transporte de los ensambles terminados. '

En una operación de maquinado de metales, el problema del diseñador de métodos puede formularse como sigue: encontrar el método más económico para transformar la materia prima, en la pieza terminada. En este caso, las restricciones son usualmente impuestas por:

1. El diseñador del producto, en forma de especificaciones de la materia prima y de la pieza terminada.

2. El ingeniero de manufactura, en forma de decisiones con respecto a las máquinas y herramientas que deben usarse.

3. El ingeniero encargado de la distribución de la planta.

4. El ingeniero encargado del manejo de materiales.

La situación es similar en otros tipos de operaciones, esto es, se imponen muchas restricciones; en vista de esto, y de lo mencionado anteriormente en el capítulo 4, con respecto a la posibilidad y deseo de revocar algunas restricciones, se comprende por qué los ingenieros de las especialidades mencionadas tienen con frecuencia dificultades entre ellos; por ejemplo, el diseñador del producto se caracteriza por diseñar productos que son muy costosos y en ocasiones casi imposibles de fabricar y ensamblar, y como una consecuencia de ello, los ingenieros de producción y de métodos, con frecuencia protestan por el hecho de que aquél no suele prever las complicaciones que originan sus especificaciones. Es obvia la necesidad de coordinar a las distintas especialidades de ingenieros con el objeto de minimizar las decisiones no óptimas originadas en cada una de ellas.

Aun cuando aparentemente exista la mejor coordinación posible, es muy probable que el diseñador de métodos encuentre conveniente y fácil cambiar varias de las especificaciones del producto, obteniendo asi una economía en la manufactura; como ocurrió en el caso del problema de ensamblar las protecciones del pasador en puertas de refrigeradores. En éste y en otros casos similares, el diseñador de métodos descubre la conveniencia de alterar los estados A y B, mencionados en el capítulo 4, sujetándolos a las limitaciones ahí citadas; asimismo, debe investigar que las especificaciones del producto sean las adecuadas, así como la ventaja y posibilidad de apartarse de ellas.

Criterios

La mayoría de los ingenieros, al menos en principio, trabajan bajo el criterio general de la ganancia en la inversión. En la práctica, existen muchas ocasiones en las que el diseñador de métodos se desvía de este criterio; además, es necesario, por lo común, expresar este criterio general de la ganancia sobre la inversión mediante criterios más específicos que guíen el pensamiento del diseñador y permitan una evaluación satisfactoria de las diferentes alternativas. Estos criterios, en conjunto, determinan la ganancia en la inversión. En el caso de diseño de métodos de trabajo, algunos de estos criterios más específicos son los siguientes:

1. *La invertían original* requerida por el método en cuestión, la cual depende de factores tales como:

   a. Las herramientas y demás equipo necesarios.
   b. La producción perdida durante la instalación.
   c. La mano de obra requerida en la iiulalación.
   d. El tiempo de aprendizaje requerido.
   e. Otros.

2. *El costo de operación* del método en cuestión, el cual depende de factores tales como:

   a. El tiempo de producción requerido.
   b. El costo de la mano de obra.

c. **La energía requerida.**
d. **El mantenimiento requerido.**
e. **La flexibilidad del método con respecto a cambios en la tasa de producción, a cambios en el diseño del producto, o respecto a la coordinación de diwygns productos. Por ejemplo, ¿cuáles serían las consecuencias si la demanda del producto cambiase de 100 a 150 unidades por hora?, ¿o qué sucedería si se cambiara la forma del producto?**
/. **La fatiga.**
g. **La monotonía.**
h. **El esfuerzo requerido.**
i. **La seguridad.**
j. **La satisfacción de los empleados.**
k. **Otros.**

El diseñador debe tomar en consideración la inversión *y* el costo de operación. No tiene sentido cuantificar los ahorros en costos de operación que se esperan lograr con el método propuesto, si no se estiman y cuantifican los costos esperados para obtener esos ahorros.

En la mayoría de los problemas, los criterios bajo los que un diseñador debe operar, son implícitos, automáticos y de rutina. En muchas situaciones sólo es necesario considerar superficialmente estas cuestiones en esta fase del proceso de diseño. Sin embargo, hay ocasiones en las que **a** algún criterio en particular debe dársele especial consideración. Por ejemplo, en algunos casos el criterio principal es la seguridad, la flexibilidad, o el espacio requerido. Desde luego, esto debe saberse antes de que se inicie la investigación de las distintas posibilidades, ya que esto significa que debe darse especial importancia a los factores que permiten deducir y evaluar **a** las diferentes alternativas o posibilidades.

El volumen de producción

Existen varias maneras en las que el volumen'de producción influye eil el curso de acción del diseñador.

Primera, el volumen es una determinante principal del tiempo que fel diseñador puede dedicar económicamente a un problema determinado, pues es obvio que un ingeniero no dedique el mismo tiempo a la fabricación de un pequeño volumen, que a uno grande.

Segunda, el volumen es una determinante principal del capital que se puede invertir justificadamente en la solución de un problema, pues ordinariamente, en una operación que implica un pequeño volumen sólo se justifica una pequeña inversión en máquinas, herramientas y otros equipos; mientras que en la operación que involucra un gran volumen ocuire lo contrario.

Tercera, usualmente el volumen es un indicio de las áreas en que deben investigarse las posibilidades de las diferentes alternativas; ejemplo, no es probable que el diseñador ofrezca alternativas con un alto grado de mecanización o automatización para un trabajo con un pequeño volumen

de producción. De la misma manera, él no sugerirá actividades manuales para un trabajo con un gran volumen de producción. Nótese que en los trabajos con pequeño volumen de producción, las mejoras más productivas implican cambios en la distribución y en los procedimientos de trabajo, pues sería incosteable la adquisición de nuevo equipo. Por consiguiente, el diseñador debe concentrarse en la distribución y los procedimientos, al buscar alternativas en trabajos de poco volumen.

El diseñador debe ser flexible en su búsqueda de alternativas, ya que si se puede elaborar más de un producto, el volumen se habrá aumentado. Por ejemplo, el diseñador puede pensar en una herramienta de potencia para una operación, pero el volumen no parece justificar la inversión. Sin embargo, si la herramienta puede usarse en otras operaciones dentro de la planta, cosa que es muy probable, entonces el volumen habrá aumentado y la inversión pudiera ser justificable.

El diseñador, al analizar el problema, no debe olvidarse de la importancia de obtener el mejor pronóstico del volumen futuro, las tendencias esperadas, sus variaciones, y la "vida" esperada del problema en sí. *No* ***debe dedicarse una cantidad considerable de tiempo o de esfuerzo*** *a* ***un problema hasta no investigar estas cuestiones.***

El papel de las técnicas diagramáticas y de otros auxiliares

Las técnicas diagramáticas especiales y el lenguaje simbólico asociado introducido antes, son útiles, en ocasiones, al analizar los problemas de métodos, pero a menudo no son tan útiles en este campo; como suele indicarse al lector en los diversos textos, es importante distinguir entre lo que es básicamente un medio para analizar un problema, o una de sus características, como se ilustra en el diagrama de precedencia, y lo que es principalmente un medio de analizar la solución de un problema, como se ilustra en la tabla de flujo. Desafortunadamente, este último tipo de auxiliares se , san por tradición como técnicas para análisis de problemas. El análisis[3] de un problema y el de una solución de ese problema, son dos procedimientos diferentes con objetivos y consecuencias distintas. El primero, esencial y típico en la práctica de la ingeniería, consiste en desmenuzar el problema en sus características básicas, que son: los estados A-y B , las restricciones, etc. El segundo consiste en desmenuzar un método presente o propuesto para la solución del problema en las partes que lo constituyen, por medio de diagramas de flujo, tablas de flujo, tabla de mano izquierda-mano derecha y demás auxiliares. Además, el análisis del método presente, o de cualquier otra solución, no es necesario ni deseable como una parte del análisis de un problema.

Cuando el primer paso en el rediseño de una operación o proceso, consiste en hacer una tabla de flujo, o una tabla de mano izquierda-mano

[3] El diccionario define la palabra Análisis como: el estudio crítico de un todo en sus componentes.

rrecha, existe siempre la posibilidad de que esto sea en detrimento de habilidad del diseñador para obtener soluciones nuevas y mejores.

Esta, desde luego, no significa que se niegue la utilidad de estos auxilia-s descriptivos como medios de comunicación y visualización y como técnicas para el análisis de soluciones. Su utilidad es limitada únicamente **cuando** se analizan los problemas.

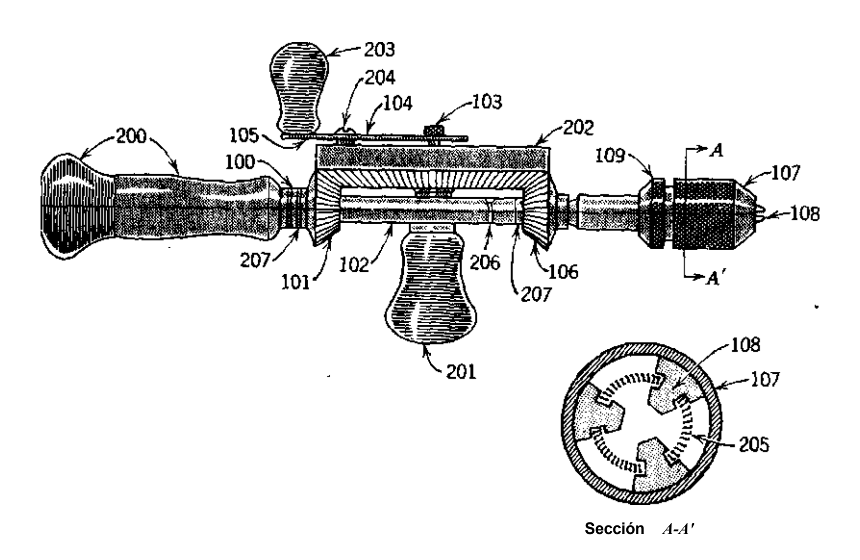
Lo mismo puede decirse respecto al uso de películas, pues la utilidad fe recurrir a tan costoso medio casi nunca se justifica, ni tampoco la •construcción de las gráficas SIMO a partir de tales películas. ¿Cuál '*ts* el objeto de realizar un fuerte gasto en formar un método actual, \jue posiblemente sea inferior, y que pueda ser substituido completa-fuente por un método básicamente diferente y mucho mejor? Todo lo anterior se refiere a Ja aplicación equivocada de las técnicas, y no es una ' crítica a las técnicas en sí mismas, pues si se les aplica correctamente, sirven para un gran número de propósitos.

1

Resumen

En este caso, la formulación y el análisis son básicamente los mismos que para cualquier problema de diseño, no obstante que el énfasis y ¡algunos detalles sean diferentes. Se han enfatizado algunas de las precau-ciones que deben tomarse en cuenta para vencer la tentación de iniciar el enfoque a un problema de redíseño con un ataque inmediato y de-

Pieza No. 306
Dibujo* del ensamble del taladro de *mano



Sección *A-A'*

tallado a la solución presente (tendencia que es tnu\ fuerte cuando la solución presente es claramente inferior), y para .evitar las sugestiones tradicionales, indicadas en la literatura de este campo, en donde suele indicarse cue se proceda en la forma citada.

EJERCICIOS

1. Una compañía manufacturera de herí amientas planea introducir en su línea de productos, un taladro manual; el diseñador de productos preparó los dibujos de las piezas, y el ingeniero de fabricación, una lista de piezas y las hojas de operaciones para cada una de ellas. El Ingeniero de fabricación piensa cjue un diagrama que describa el proceso general de fabricación de! taladro manual, sería de gran ayuda para él, para el ingeniero a cargo cié la distribución dr la planta, para el personal que prepara el programa de producción, y para otras personas dentro de la organización, quienes deben entender la secuencia, las relaciones y el tiempo usado en las operaciones del sistema. Prepare un auxiliar diagramático que sirva para este propósito. Los documentos necesarios son los siguientes:

Lista de piezas

Nombre de la pieza: Taladro manual

Número de la pieza: 306

Nombre de la pieza	Número de la pieza	Cantidad necesaria por ensamble final	Materia prima
Conjunto de mango y anillo	200	1	
Perno del mango	100	1	Barras
Engrane superior de mando	101	1	Barras
Eje principal	102	1	Barras
Perno fijador del engrane de mando	io:<	I	Barras
Conjunto de mango y anillo del perno fijador	201	1	
Engrane de mando	202	1	
Mango del engrane de mando	203	1	
Brazo del mango del engrane de mando	104	1	Soleras
Perno del mango del engrane de mando	105	1	Barras
Tornillo	204	1	
Engrane mandado inferior	106	1	Barras
Cubierta de la mordaza	107	1	Barras
Mordazas	108	3	Barras
Resortes	205	3	
Tornillo Fijador	206	1	
Arandelas	207	2	
Base del Mandril	109	í	Barras

NOTA: Las piezas de la serie 200 son compradas.

Hojas de operación

ele piezas: 100 a 109 del ensamble No. 306

Pieza	Operación	Máquina	Tiempo estándar (minutos)
*crnode¡ mango (N' 100)	Voltear y cortar	Tornillo automático	
ngrane superior de man-, do (.V 101)	1. Voltear y cortar 2. Cortar los dientes	Tornillo automático Cortador de engranes	
aje principal (N* 102)	1. Voltear, taladrar y cortar 2. Taladrar 3. Taladrar	Tornillo automático Prensa taladradora Prensa taladradora	
Perno fijador del engra-' T ne de mando (N" 103)	Voltear, hacer la rosca y cortar	Tornillo automático	
"Brazo del mango del engrane de mando (N' 104)	Agujerar	Prensa	
Perno del mango del engrane de mando (N9 105)	Voltear y cortar	Tornillo automático	
Engrane mandado inferior * <N" 106)	1. Voltear y cortar 2. Cortar dientes 3. Hacer la rosca	Tornillo automático Cortador de engranes Forjador de roscas	
Cubierta de la mordaza ' IN' 107)	Voltear, taladrar, puntear y cortar	Tornillo automático	
Mbrdazas (N* 108)	1. Voltear y cortar 2. Taladrar	Tornillo automático Prensa taladradora	
fbedel mandril (N9 109)	Voltear, taladrar, puntear y cortar	Tornillo automático	

Hoja de la operación de ensamble

No. de pieza 306: Ensamble del taladro manual

Subensamblc	Operación	Máquina
N® 300	Ensamblar en el eje principal (N® 102), el engrane superior de mando (N® 101), el perno del mango y anillo (N® 200), y la arandela (N® 207).	Banco de trabajo
N® 301	Ensamblar en el N® 300, el engrane mandado inferior (N® 106), la arandela (N® 207), y el tornillo fijador (N® 206).	Banco de trabajo
N® 302	Ensamblar en el N® 301, los 3 resortes N?: 205, las tres mordazas (N® 108). la cubierta de la mordaza (N® 107), y la base del mandril (N® 109).	Banco de trabajo
N® 303	Ensamblar en el N® 302, el perno fijador del engrane de mando (N® 103).	Banco de trabajo
N* 304	Ensamblar en el N" 303, el conjunto de mango y de anillo del perno fijador (N® 201).	Mesa de trabajo
N® 305	Ensamblar el perno del mango del engrane de mando (N® 105), el brazo del mango del engrane de mando (N® 104) y el mango del engrane de mando (N® 203), después remachar.	Remachadora
N® 306	Ensamblar en el N® 304, el ensamble N® 305, el tornillo (N® 204), y el engrane de mando (N® 202).	Banco de trabajo
	Inspeccionar el ensamble final.	Banco de trabajo

2. Prepare un diagrama de precedencia para el proceso consistente en llenar un encendedor con líquido. Use elementos tales como quitar la tapa, quitar el tapón, llenar, etc.

3. Prepare una tabla de actividad múltiple para tres compañeros de apartamento, para las actividades que transcurren desde que se levantan hasta que salen a clases. Intente coordinar las actividades, de tal manera que se minimice el tiempo para los tres. *Suposiciones:* Además de vestirse, cada persona *comerá, se lavará y rasurará; y tenderá* cada una de las camas.

4. Prepare una tabla de actividad múltiple para la operación de un mimeógrafo, suponiendo que el operador debe lavar también los esténciles usados. ¿Es posible que una persona opere más de una máquina simultáneamente? Prepare una tabla de actividad múltiple que respalde su respuesta.

5. Uno de los componentes principales de una máquina calculadora debe maquinarse en una fresadora de alimentador automático. Se requieren dos operaciones sucesivas de maquinado, las dos con el mismo tipo de máquina. En ambos casos, el operador debe abandonar la máquina durante la parte del ciclo correspondiente al maquinado. Se requiere durante el año, un volumen de 1,000 piezas diarias. Las características de las dos operaciones se indican en la siguiente tabla:

	Operación i	Operación 2
Descargar	0.12 minutos	0.11 minutos
Cargar	0.19 minutos	0.15 minutos
Maquinar	0.38 minutos	0.47 minutos

Estas máquinas trabajan un promedio de 85% de las 8 horas diarias laborables.

¿Cuál sería la distribución de hombres y de máquinas que usted recomendaría?, respalde sus respuestas con unas tablas de actividad múltiple adecuadas. Las máquinas pueden distribuirse en cualquier forma conveniente para el proceso mencionado.

6. Prepare un diagrama y una tabla de frecuencia de viajes para una de las siguientes situaciones:

a) Un período de actividad en un taller de mantenimiento y reparación.
b) La preparación de una comida.
c) Un período de actividad en una oficina de negocios.

7. Prepare una tabla de mano izquierda-mano derecha para los movimientos que se efectúan al cargar una engrapadora. Suponga que la engrapadora está colocada en el escritorio ante usted, que las grapas están en una caja dentro de uno de los cajones del escritorio, que la secuencia que se describirá se inicia con las manos descansando sobre el escritorio, y termina cuando ías manos regresan a esa posición. Analice esta actividad en términos de los elementos de "tomar y colocar" y después en términos de los elementos de MTM (alcanzar, mover, sujetar, etc.).

8. Se ha filmado a una velocidad de *1,000* exposiciones por *minuto,* la operación de una prensa. Se examinó exposición por exposición, un ciclo representativo de esta operación, y se registró el número de exposiciones para cada movimiento. (Por consiguiente, el tiempo está dado en milésimos de minuto.) El resultado de este análisis se da en la tabla siguiente. Aparte de estos datos, prepare una gráfica SIMO para esta operación.

Resultados del análisis efectuado, exposición por exposición, de le operación de una prensa

Mano izquierda			Mano derecha		
Descripción	**Símbolo**	**Tiempo en minutos**	**Tiempo en minutos**	**Símbolo**	**Descripción**
Hacia la pieza en el troquel	A	0.006	0.008	A	La pieza en la charola
En la pieza	S	0.008	0.005	R	
	R	0.007	0.008	S	La pieza en la charola
La pieza hacia el	M	0.010	0.010	M	La pieza hacia el troquel
Vertedero de salida	P	0.002	0.018	SO	La pieza en el troquel
	R	0.016	0.002	P	La pieza en el troquel
Hacia el botón del viaje a la mano izquierda	A	0.008	0.006	A	Hacia el botón del viaje a la mano derecha
En el botón	S	0.002	0.002	S	En el botón
Viaje de la prensa	M	0.004	0.004	M	Viaje de la prensa
En el botón	P	0.002	0.002	P	En el botón
			(fin del ciclo)		



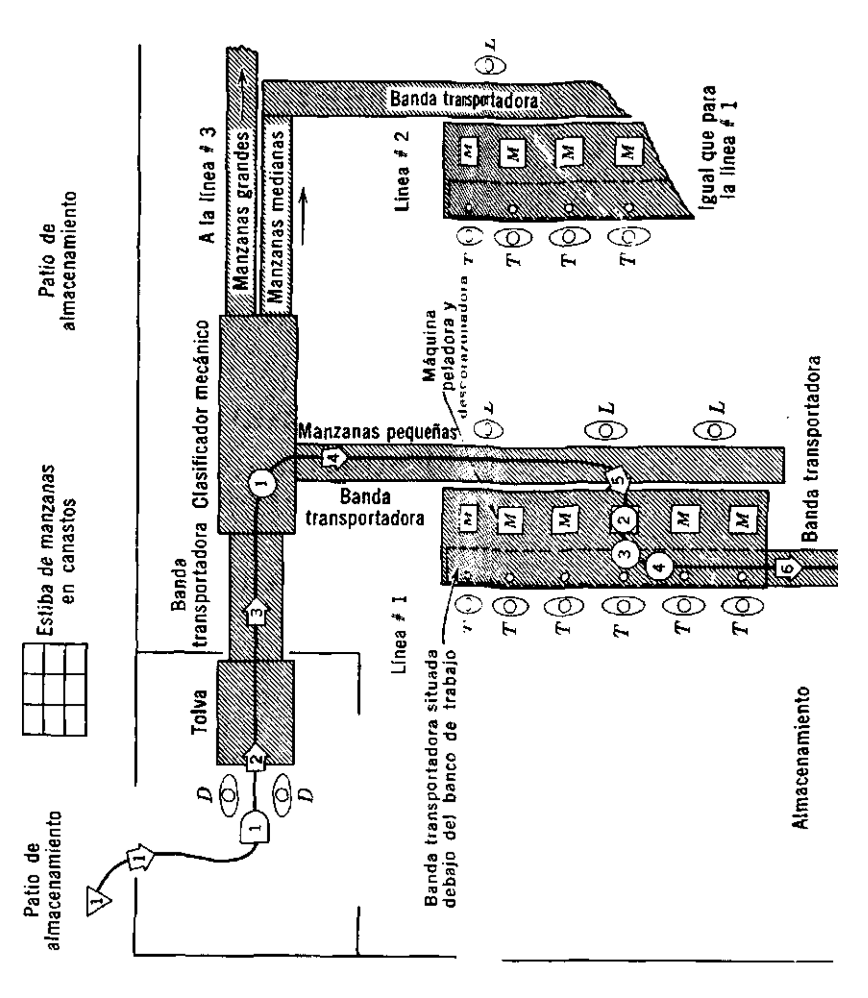
Diseño de métodos: Búsqueda de alternativas

La decisión relacionada con la Inclusión del ser humano en el proceso

Existe una serie de generalidades, además. de los auxiliares de la inventiva mencionados en el capítulo 5, que sirven para ayudar al diseñador de métodos a elaborar alternativas. Antes de mencionarlas en detalle, conviene revisar algunos de los pasos y de las decisiones, que deben efectuarse al diseñar una instalación completa para producir. Recuérdese que el ingeniero de manufactura decide lo que debe hacerse para producir el producto; después, en unión del ingeniero de métodos, decide cuál de las operaciones necesarias ha de efectuarse con máquinas, con hombres, o con una combinación de hombres y máquinas. En esta fase de la decisión,



ilustrada por el diagrama adjunto, estos especialistas diseñan las funciones que realizará el ser humano, el papel que desempeñará directamente, al transportar, medir, manipular, etc.; e indirectamente, en el mantenimiento, como corrector de problemas, monitor, etc., pudiendo observarse que el ***hombre y la máquina compiten en varias de las tareas del proceso total de manufactura.*** Existen algunas operaciones que el hombre no puede realizar, y si lo hace, esto ocurre de una manera prohibitiva; igualmente, existen actividades que una máquina no puede realizar. Como una ilustración, veamos que el ser humano no puede realizar, con relación a la máquina, lo siguiente:



1. Ejercer fuerza considerable, como la que se requiere para cortar y troquelar metales.
2. Ejercer una fuerza en forma suave o precisa, como la requerida en el cortado de alta precisión, de los metales.
3. Realizar cálculos a alta velocidad
4. Realizar operaciones rutinarias repetitivas, sin sufrir ciertos efectos secundarios tales como aburrimiento, fatiga y falta de cuidado, los que van en detrimento de un rendimiento efectivo y consistente.
5. Moverse a altas velocidades.

A su vez, la máquina no puede, entie otras cosas:

1. Aprender, esto es, aprovechar la experiencia.
2. Generalizar.

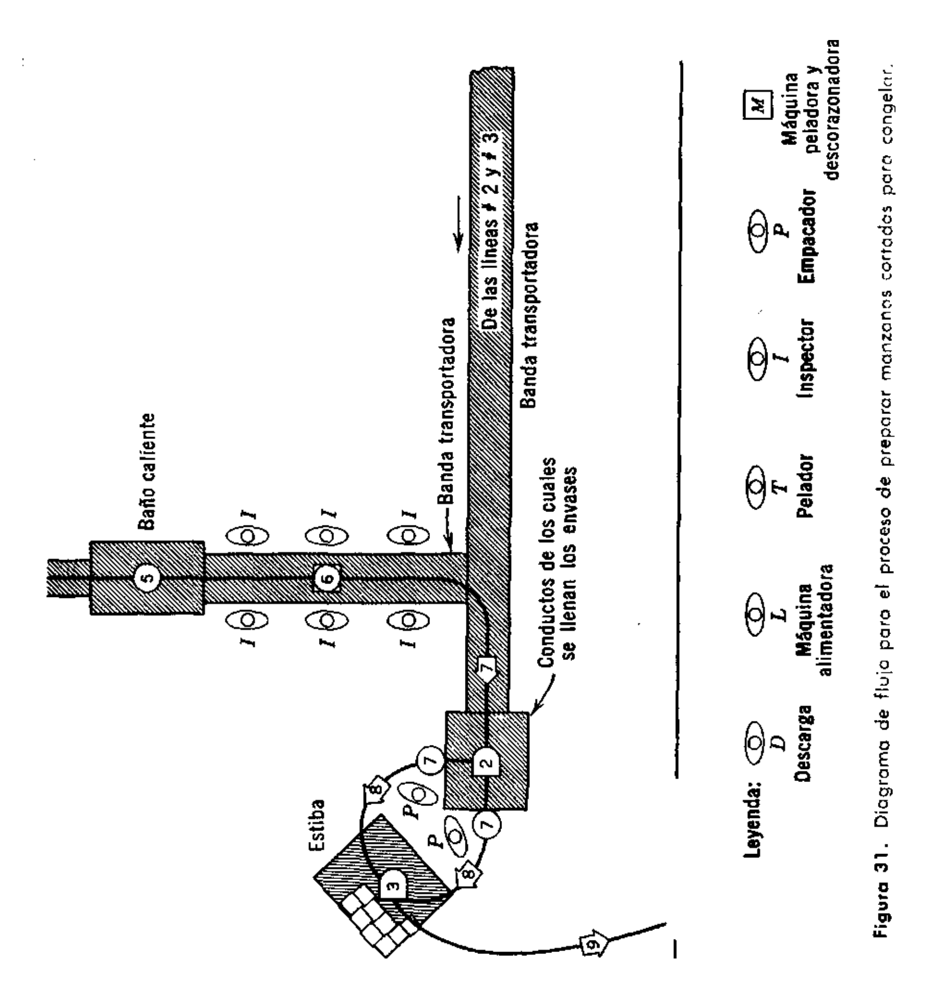


Figura 31. Diagrama de flujo para el proceso de preparar manzanas cortadas para congelar.

3. Enfrentarse a acontecimientos inesperados.

4. Pensar creativamente.

5. Darse cuenta de los acontecimientos que ocurren a su derredor, esto es, no está construida específicamente para "sentir".

En una oficina moderna típica, pueden encontrarse ilustraciones familiares de la forma en que el hombre y la máquina compiten en la realización de varias tareas. Como un ejemplo específico, considérese una planta dedicada a la preparación de manzanas cortadas para congelarlas. Brevemente, las manzanas se pelan, descorazonan, cortan, y se tratan para retardar su oxidación, se inspeccionan, empacan y posteriormente se transportan a la planta congeladora; en la figura 31 se ilustra un diagrama de flujo para este proceso, en la figura 32, una gráfica de flujo.

Diagrama de flujo, preparación de las manzanas cortadas

V Canastos estibados en el patio de almacenaje.

[í> Los canastos se transportan a la planta por medio de un montacargas, fig. 33

(T) Esperar para ser vaciadas

*C2> Vaciar los canastos con manzanas en la banda transportadora, fig. 34

Por la banda transportadora

© Las manzanas pequeñas se separan automáticamente
y se desvian hacia la linea # 1, fig. 35

C£> Por la banda transportadora

*C5> Colocar las manzanas en la máquina peladora y descorazonadora, fig. 36

© Pelar y descorazonar, figura 36

*© Quitar los restos de cáscara dejados por la máquina, figura 37

(J) Mondar las manzanas, figura 38

[6> Por la banda transportadora situada debajo del banco de trabajo

(£) Baño caliente, para evitar el enegrecimiento, figura 39

Inspeccionar y eliminar defectos, figura 40

Cj> Por la banda transportadora

[£) Esperar para ser empacadas

Empacado, figura 41

*C8> Cargar en estibas

[9> Transladar al congelador por medio del montacargas

Figura 32. Gráfica de flujo para el proceso de preparar manzanas cortadas para congelar.

Lo que se pretende aquí es mostrar la forma en la que el operador humano compite ventajosamente en algunas de las tareas, las que se marcan con asteriscos en la figura 32, y aquellas en las que la máquina es más eficiente. La transportación se efectúa principalmente por máquinas, ya sea en montacargas o en transportador de banda. Una máquina clasifica las manzanas en tres categorías, de acuerdo con su tamaño, y las descaiga en transportadores de banda diferentes, los que las conducen a sus líneas de procesado correspondientes. Una máquina bastante ingeniosa, pela y descorazona las manzanas; otra, corta en secciones la manza-



s j r í ® s s ¿ «

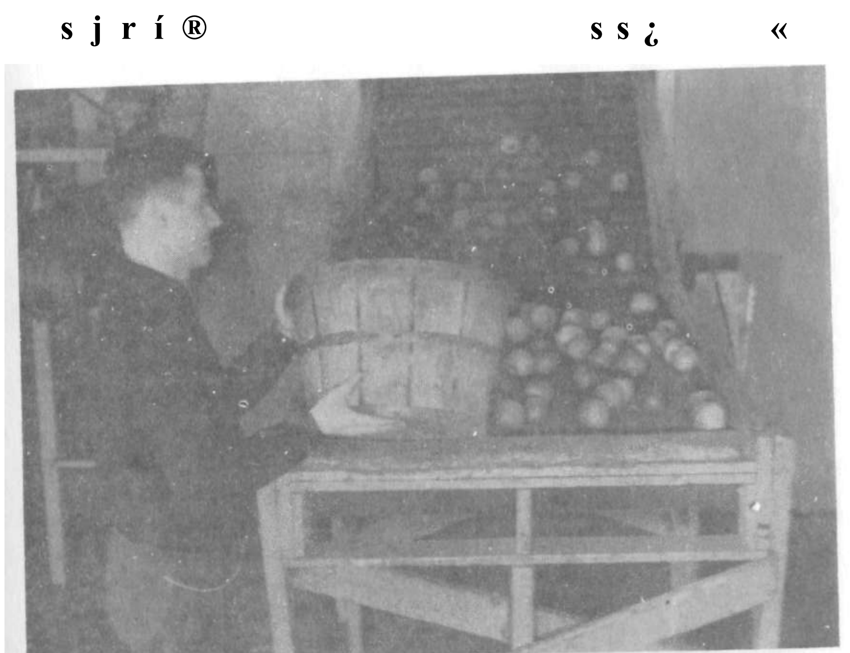
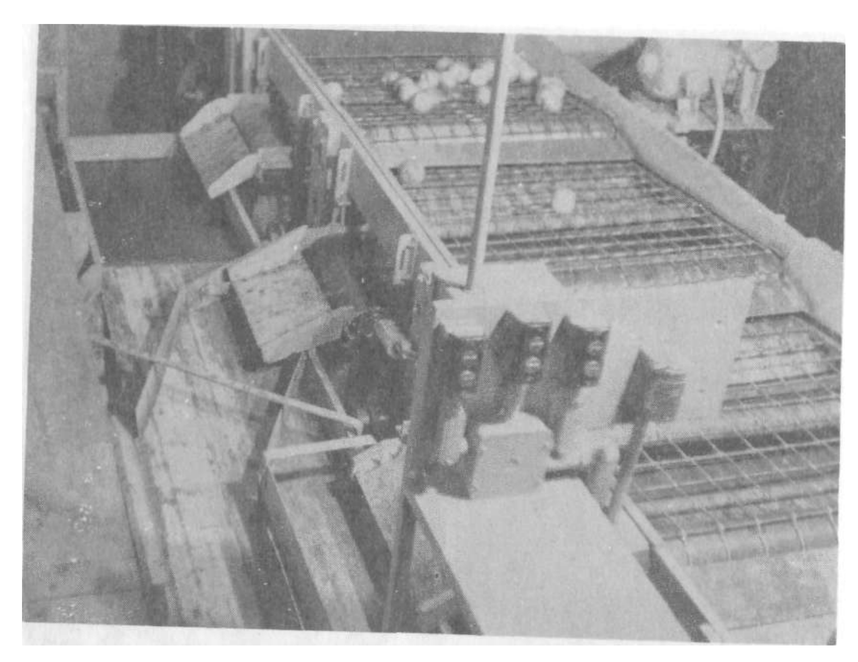


Figura 34. Los canastos con manzanas se vacían en el transportador de banda. (Cortesía de William E. McIntosh Company.)



Fí9Ura ItadnrIf'T Ue^SeparQ la; manMnas en tamaños y las distribuye en transportadores de banda separados. (Cortesía de William E. McIntosh Company;|



F¡SIra¡'' oPer.ario c0locand0 manzanas en la "mano mecánica" de la máquina auto-Peladora y descorazonadora. (Cortesía de William E. McIntosh Company.)

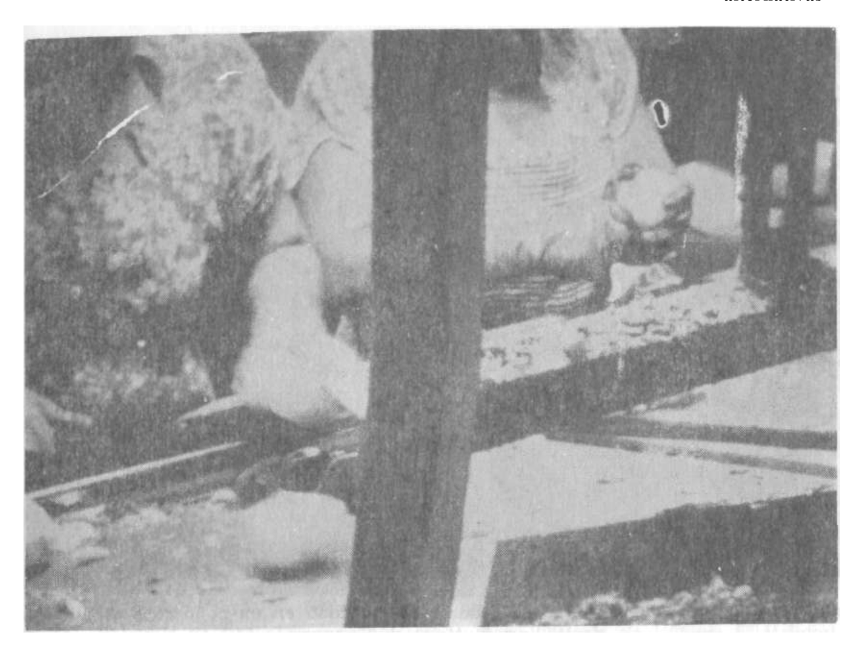


Figura 37. Recortador que quita los restos de cascara que quadan después de descargar las manzanas de la máquina peladora y descorazonadora. Las manzanas recortadas se echan por el hueco del banco en el huso de mondar mostrado ei la fig. 38. (Cortesia de William Mclntosh Company.)

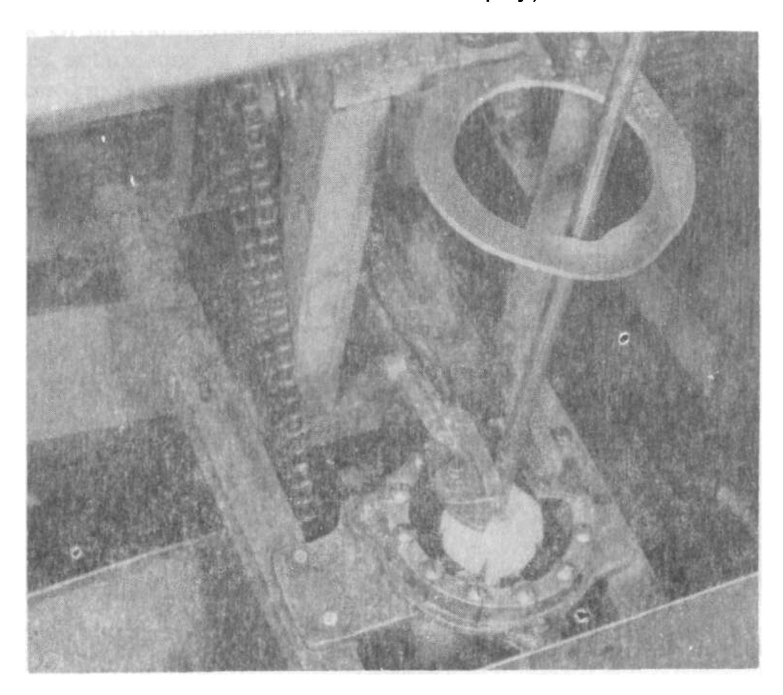


Figura 38. Aparato mecánico para mondar manzanas. (Cortesía de William E. Mclnlosh Company.)

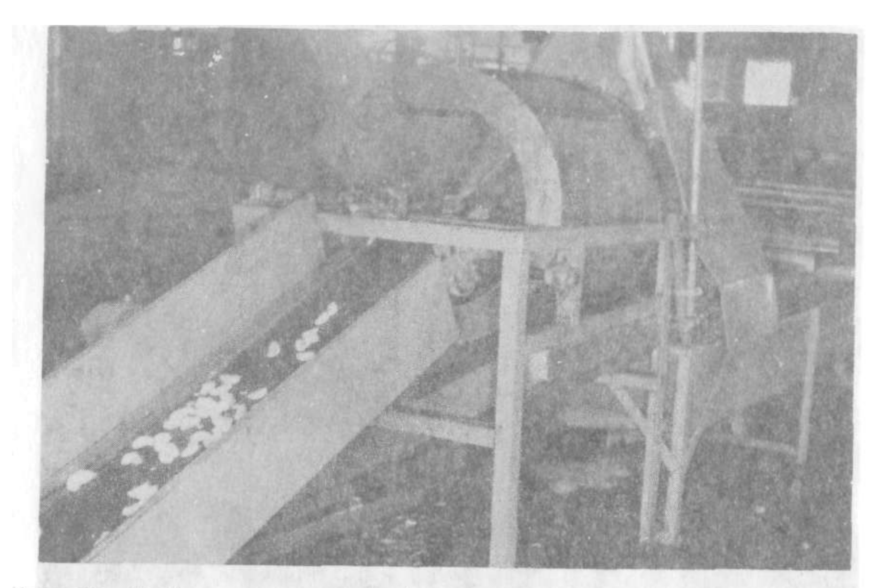


Figura 39. Máquina que sumerge los pedazos de manzana en un baño caliente. (Cortesía de William E. McIntosh Company.)

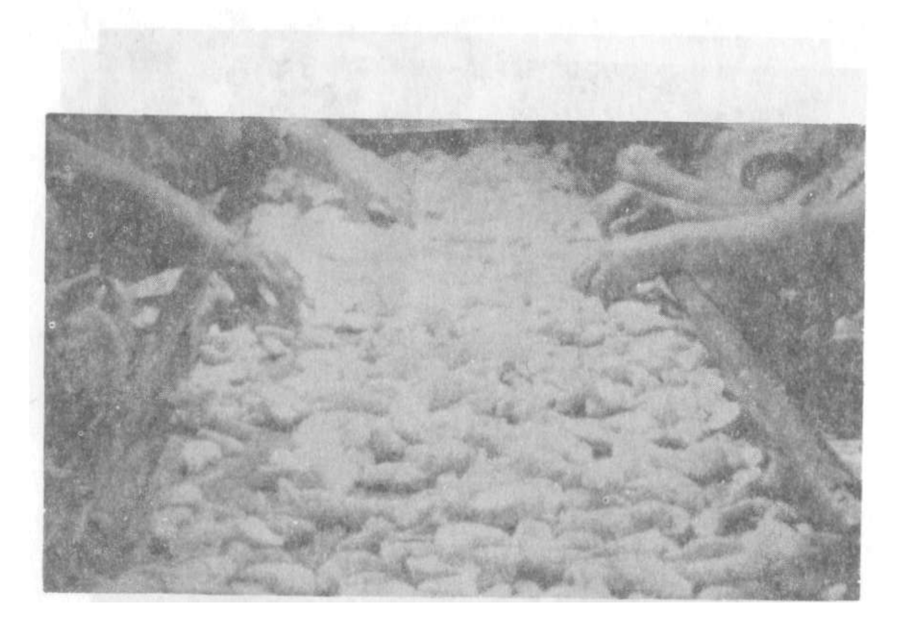


Figura 40. Los inspectores comprueban y eliminan defectos. (Cortesía de William E. McIntosh Company.)

Figura 41. Empaque de trozos de manzana preparados. [Cortesía de William E. Mclntosli Company.)

na pelada, y otra, envía los pedazos de manzana a un baño caliente y los descarga en un transportador de banda.

Deberá notarse que la causa principal de la presencia del hombre en ese proceso, se debe a irregularidades, de un tipo u otro; así, por ejemplo, es necesario que él actúe para transferir las manzanas del transportador y que las coloque en la máquina peladora y dcscorazonadora, debiéndose esto principalmente a la variación del tamaño y de la forma de las manzanas. Similarmente, el operador humano se emplea para detectar y eliminar pedazos de cáscara que deja la máquina, como resultado de la variación del tamaño y de la forma de las manzanas. Igualmente, debido a la variación de la frecuencia y localización de las imperfecciones, el hombre se emplea para detectarlas y eliminarlas; por último, debido a la variedad de empaques empleados, es el hombre y no la máquina quien se encarga del empacado, observándose que en cada uno de estos casos únicamente con gastos excesivos podría desarrollarse una máquina que realizara las tareas asignadas al hombre.

En general, en los procesos de manufactura, los papeles relativos del hombre y de la máquina varían desde un extremo en que todo el proceso es manual, a otro en que todo el proceso es automático, y en donde el hombre está presente solamente pava vigilar, efectuar el mantenimiento como localizador de problemas, etc. En la fig. 42 se muestran, en forma esquemática, los grados de inclusión del hombre, dentro de un proceso productivo, y los diversos niveles de mecanización.

El hombre es una herramienta (por así decirlo), fácilmente disponible, extremadamente flexible, capaz de muchas y diversas aplicaciones, bastando para ello un período de entrenamiento y práctica, frecuentemente menos costoso que la fabricación de máquinas para el mismo propósito. Lo que coloca al hombre en una posición ventajosa, para muchas tareas que impli-

1. Trabajo manual, sin herramientas

2. Herramientas manuales, por ejemplo, pinzas

3. Herramientas manuales eléctricas, por ejemplo, desatornillador eléctrico

4. Herramientas eléctricas guiadas, por ejemplo prensa taladradora

5. Herramientas eléctricas guiadas, con ciclo controlado mecánicamente, por ejemplo, fresadora con alimentación mecánica

6. Herramientas eléctricas guiadas, con ciclo controlado mecánicamente, carga y descarga mecánica, por ejemplo, máquina embotelladora

7. Herramientas eléctricas guiadas con ciclo controlado mecánicamente, carga y descarga mecánica, autoverificación y autocorrección

Grados de mecanización

Completamente manual, el hombre efectúa todo el proceso

Automatización "completa", el hombre no tiene parte directa en el proceso

Figura 42. Rango de los grados de mecanización, ¡unto con ejemplos localizados en varios puntos a lo largo de esta escala.

can un volumen de producción pequeño, mediano y en ocasiones alto, es su flexibilidad, adaptabilidad, facultades sensitivas y mentales, y su relativamente bajo costo de obtención; sin embargo, no obstante que en muchas ocasiones el costo de desarrollar, crear e instalar las máquinas es muy alto, el hecho de que pueden producir con una mayor eficiencia, velocidad, consistencia y calidad, significa que si el volumen de producción es lo suficientemente grande, se justifica el elevado costo inicial de la máquina; de lo cual resulta que el hombre sea reemplazado por ella.

A pesar de sus grandes cualidades, el hombre tiene, también, algunas litaciones drásticas; a lo largo de la historia, él ha luchado constante-jtnente para desarrollar los medios que compensen sus limitaciones físicas mentales, y, de hecho, la mayoría de los artificios creados por él son recisamente para ello: las manos humanas son extremadamente inadecua- como herramienta o arma, lo que dio origen a que el hombre prehistórico las sustituyera por una piedra, para realizar muchas de sus tareas; osteriormente, para incrementar su fuerza y radio de acción, le añadió un iango a la piedra, y creó el hacha de este material.

Entre los dispositivos y mecanismos modernos que el hombre ha inventado ípara compensar sus limitaciones físicas y mentales, podemos citar los si-aientes:

1. Medios para aumentar sus facultades sensitivas: el radar, el sonar, altoparlante, el telescopio y el termómetro.
2. Medios para ampliar sus facultades mentales: la regla de cálculo, la calculadora de escritorio, la computadora electrónica, la memoria de cinta magnética, etc.
3. Medios para aumentar sus facultades motrices: la palanca, el martillo, la prensa de tornillo, los cilindros neumáticos e hidráulicos, el motor, etc.

Cada uno de los artificios mencionados se desarrolló con el objeto de ealizar una función que el hombre no podía efectuar adecuadamente, bido a los requerimientos involucrados. Las limitaciones del hombre con respecto a varias tareas relacionadas con la producción, pueden definirse cuantitativamente, y con esta información el diseñador puede seleccionar objetivamente un sistema de manufactura que capitalice las excepcionales racterísticas del hombre, y que elimine o compense sus limitaciones. En tabla 4, se muestran algunas de las tareas básicas efectuadas en el proceso ordinario de producción junto con algunas de las características e desempeño de las mismas, que son definibles y mensurables con respecto a lo que puede esperarse del hombre. Con el fin de hacer una elección teligente entre el hombre y la máquina, para una tarea dada de transportación, de colocación, o de cualquier otro tipo, el diseñador debe disaner de una información cuantitativa de lo que puede esperar del hombre, razonablemente, a este respecto, siendo estas generalidades cuantitativas as que definen las capacidades del rendimiento del ser humano que, su vez, mejoran considerablemente la objetividad de la elección del disecador para preferir entre hombre y máquina, en una tarea dada. No DStante que existe esta necesidad, la información disponible respecto generalidades cuantitativas de este tipo es escasa, dispersa y frecuente--nte inédita; además, gran parte de la información reciente se debe a Ecólogos y fisiólogos, y no se ha aplicado ampliamente en la industria. ®n vez de utilizar esta información, al decidir si se emplea el hombre o la áquina en una tarea dada, los diseñadores prefieren basarse en su expeencia, en un conjunto de reglas empíricas, desarrolladas con el tiempo,

y en un conjunto de métodos especiales para sintetizar costos y tiempos de desempeño (por ejemplo, tiempos de movimiento predeterminados, que se discutirán posteriormente).

TABLA 4

Varias tareas básicas de producción y sus correspondientes características de ejecución

Tarea	El diseñador debe disponer de la información cuantitativa que describa las aptitudes del hombre con respecto a:
Transportador	La velocidad: máquina y promedio. El peso: la capacidad máxima y promedio. El tamaño: la capacidad máxima y promedio. La flexibilidad: los efectos de la repetición, el control o la precisión.
Posicionador	La velocidad: máxima y promedio. El peso: la capacidad máxima y promedio. El tamaño: la capacidad máxima y promedio, los efectos de la repetición y la flexibilidad. El control o la precisión.
Integrador (un medio para combinar las informaciones parciales, de una manera útil y realmente significativa)	El umbral o punto donde se inicia la reacción. El tiempo de reacción. La variabilidad. La capacidad. La confiabilidad.
Memoria	La capacidad. El límite de aplicabilidad. La confiabilidad. El tiempo de acceso.
Comunicador	La rapidez. La variabilidad. La confiabilidad. El rango.

En los Estados Unidos de Norteamérica, los servicios militares han dedicado una atención considerable a las capacidades relativas de desempeño del hombre y de la máquina. (A este respecto, cada vez es mayor el número de ocasiones dentro de las cuales, en los sistemas militares modernos, el ser humano no puede satisfacer estrictas exigencias respecto a rapidez, confiabilidad y complejidad; por lo que, en forma rápida, el hombre está dejando de ser un componente directo de los sistemas ofensivos y defensivos, y se ve continuamente reemplazado por un ejército

¡ técnicos y hombres dedicados al mantenimiento de los armamentos jdernos.) Como un resultado de este interés, sicólogos y fisiólogos, auspiciados por las fuerzas armadas, han recopilado un gran volumen de «tos relacionados con las capacidades del desempeño humano. Estos ttos están a disposición del público a través de varios medios [1] de informafin, pero la industria no los ha empleado en forma efectiva.

gcisión relativa a la utilización del hombre, en un proceso

Para hacer una elección inteligente, entre el hombre y la máquina.[2] eben conocerse los medios más efectivos para utilizar al hombre en la rea considerada; fue, precisamente, esta necesidad del mejor uso del ombre en una operación lo que dio origen a un campo especializado lasado en principios que sirven de guía al diseñador de métodos, en su búsqueda de los mejores métodos de trabajo; esto le permitió integrar hombre dentro del proceso productivo y, al mismo tiempo, determinar el Procedimiento de trabajo, distribuir la estación de trabajo y diseñar el equióptimo, todo ello relacionado con eí ser humano. A continuación detallan estas 3 categorías de principios.

Los principios relacionados con el procedimiento de trabajo. Estos .^principios se refieren a cosas tales corno decir qué clase de trabajos se •"fefectuarán con las manos y cuáles con los pies; el tipo y secuencia los movimientos y los miembros del cuerpo que se usarán, etc.; como ""ejemplos de estos principios, tenemos:
V

1. La secuencia de los movimientos deberá facilitar el aprendizaje y el 'itmo, y minimizar el número total de movimientos necesarios.

2. El trabajo deberá distribuirse lo más simétricamente posible, entre las manos y los dos pies.

f'S. Los movimientos relativamente no controlados, tales como los requeós para funciones mutuamente exclusivas, deberán ser realizados por ledio de una acción del pie o de la pierna siempre que sea posible, 6r ejemplo, encender-apagar, abrir-cerrar.

'4. Los movimientos de transportación deberán efectuarse con el moviáento natural del antebrazo, manteniendo a un mínimo el movimiento b la parte superior del brazo.

[1] Véase, por ejemplo, Ernest J. McCormick, *Human Engineering,* McGraw lll Book Company, Nueva York, 1957; o *Handbook of Human Engineering Data,* id- ed. Tufts College, Medford, Massachusetts, 1952: o W. E. Woodson, *Human igjneering Guide For Equipment Designers,* University of California Press, Berkeley, omia, 1954.

En la práctica, estas dos decisiones, la de ***qué*** tareas realizará el hombre, y de *cómo* las realizará, se hacen por lo general en forma sucesiva. Idealmente, e decirse primero *cómo* realizará el hombre una función determinada, y luego se dirá si el hombre realizará o no la función.

5. Siempre que sea posible, debe usarse el movimiento de "dejar caer".
6. Deben usarse los movimientos suaves, curvos, balísticos, en lugar de los movimientos rígidos, forzados, o de ángulos agudos.

El ciclo básico de enirada-decisión-salida. Antes de iniciar la descrip. ción de los principios relacionados con el equipo y la distribución, conviene recordar el ciclo básico de control, el cual se ilustra en la figura 43.

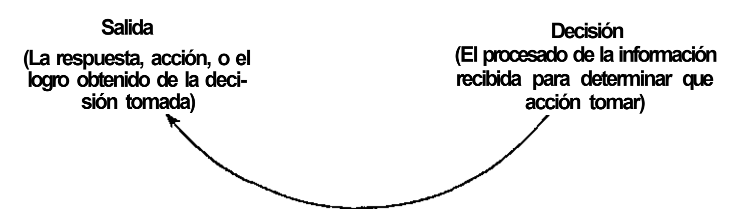


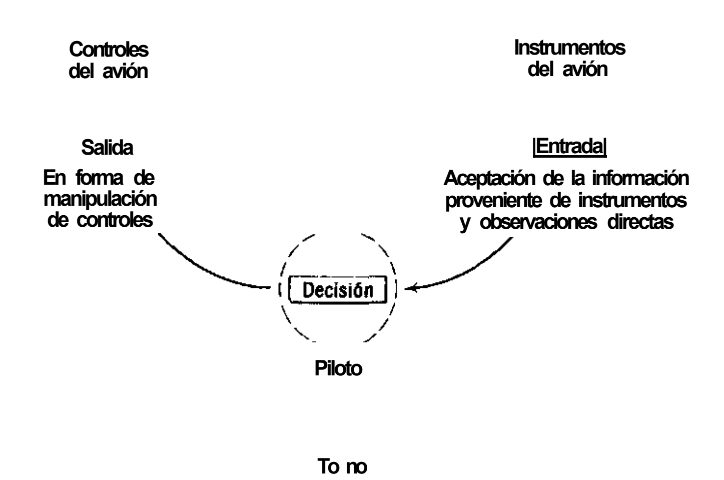
Figura 43. Ciclo básico de control, tal como se emplea en el organismo.

La habilidad de un hombre, o de una máquina, o de una combinación de los dos, para lograr un objetivo consistente y satisfactoriamente, depende de la continuidad del ciclo mencionado. En la figura 44 se ilustra la aplicación de este ciclo en situaciones que atañen directamente a' ingeniero de métodos; también se ilustran tareas tan familiares como guiar un automóvil, alcanzar un objeto, caminar hacia un lugar en particular, etc.

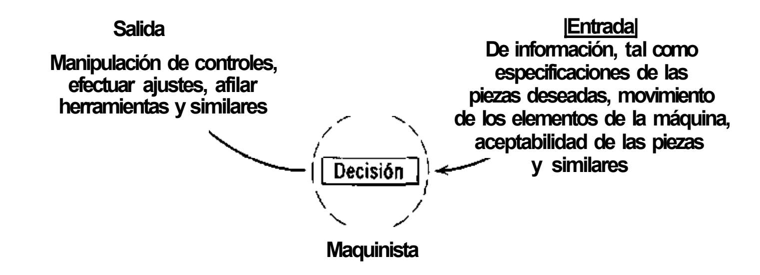
Nótese que en cada una de estas ilustraciones, el hombre se pone en contacto con la situación ante la que se encuentra, en dos puntos, a saber:

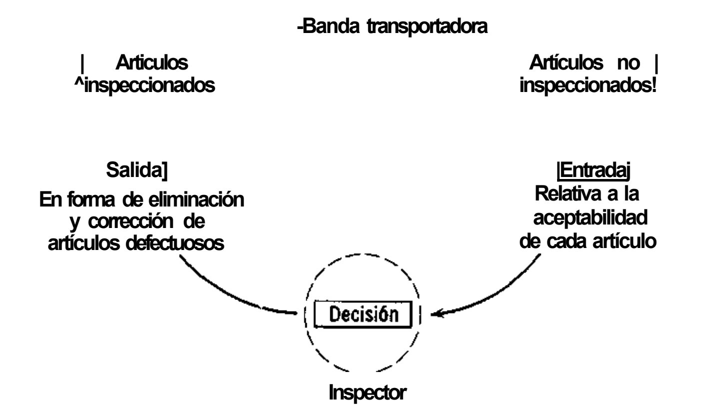
1. En el punto en el que él recibe su información, por ejemplo, el tablero de instrumentos, el micrómetro, el movimiento de los elementos de la máquina, etc.
2. En el punto en el que él actúa sobre la situación, por ejemplo al manipular los controles. El primero se realiza mediante los sentidos (la vista, el tacto, etc.) y el segundo, por medio de los agentes (miem-

úsqueda de
alternativas



To no





Ciclo básico de entrada-decisión-salida, ilustrado en términos de tres operaciones comunes.

bros del cuerpo); siendo estos dos puntos de particular interés para el diseñador de métodos, ya que él se ocupa principalmente de la manera en que el hombre recibe la información, y la forma en que actúa sobre la misma. Como un resultado de la diferencia fundamental entre las fases

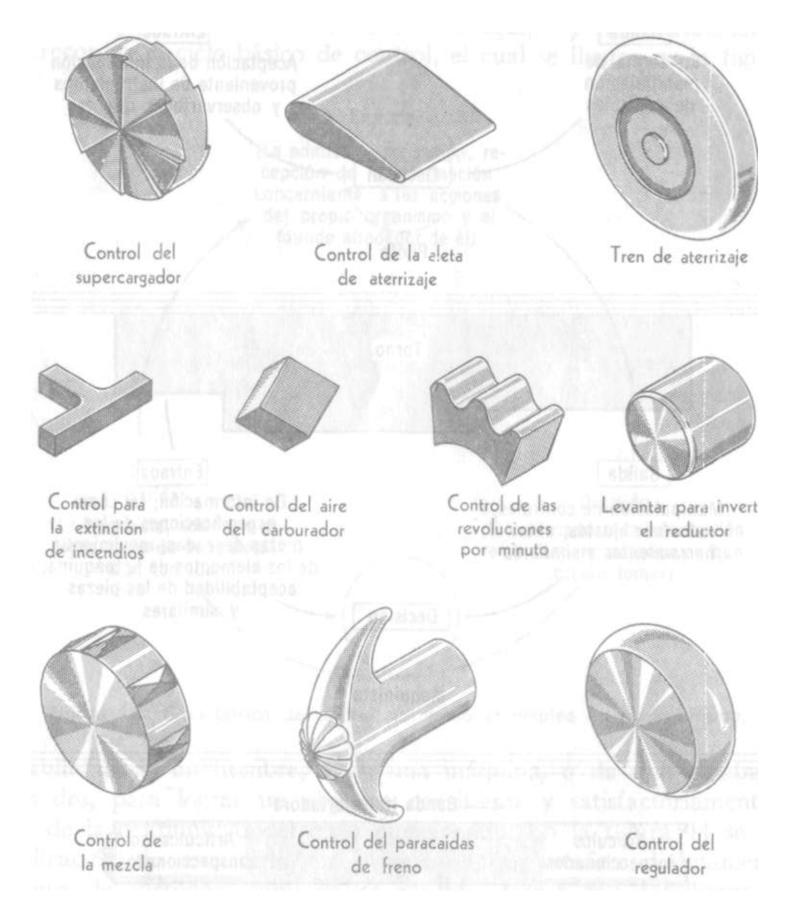


Figura 45. Formas estándar de las perillas para los controles de aviones.

de comportamiento, de "entrada" y de "salida", los principios relacionados con el equipo y la distribución se clasifican de la siguiente manera.

Los principios relacionados con el diseño de equipo. Los siguientes son los principios que se relacionan con la *entrada* (observación, sensación o recepción) de la información concerniente a la situación con la cual se enfrenta el hombre.

1. Al buscar los controles establezca claves respecto a colores, forma, o tamaño, para maximizar la velocidad y minimizar los errores. Una aplicación de este principio se ilustra en las figuras 45 y 4 6 , mostrándose en la

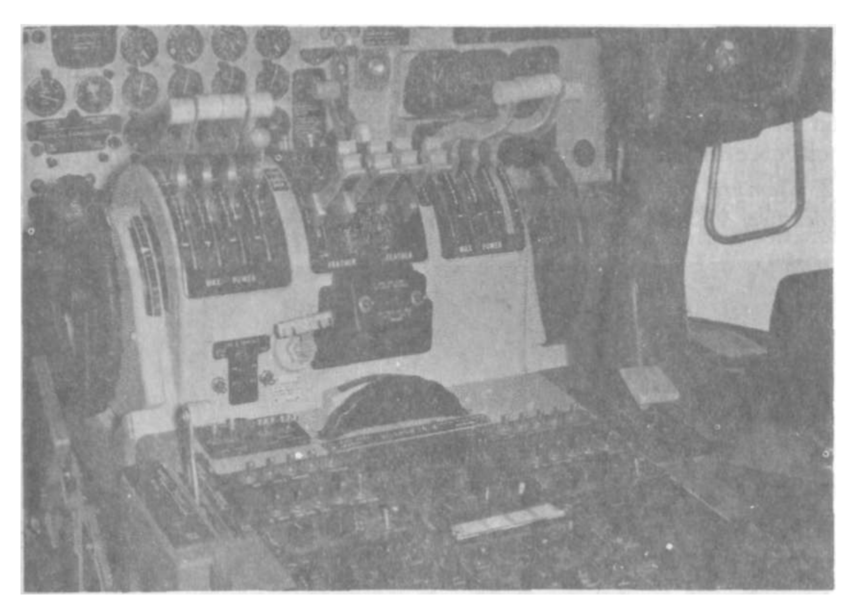


Figura 46. Uso de controles con clave de forma en un avión comercial (cortesía de la Douglas Aircraft Company).

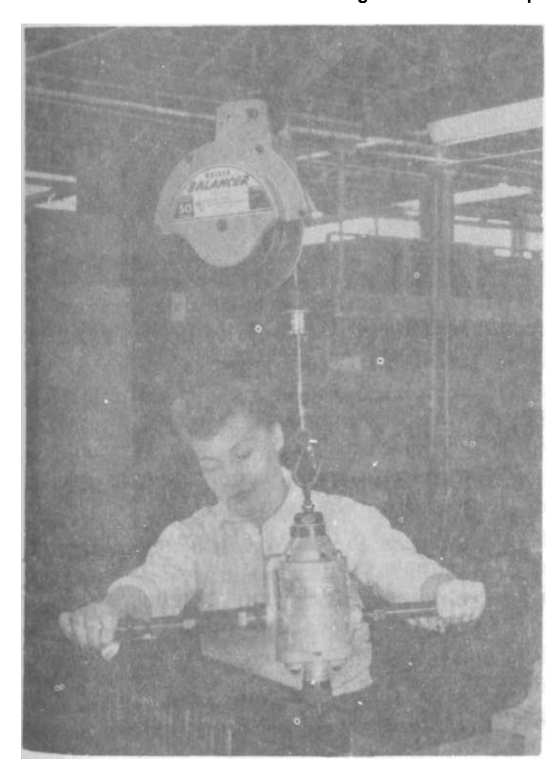


Figura 47. Mecanismo para pre-ubicación, sostiene la herramienta dentro de une distancia conveniente, haciendo que no pese al operador, levantándola automáticamente, en cuanto el operador la suelta. (Cortesía de Gardner-Denver Company, Grand Haven División.)

primera unas formas estándar de perillas, desarrolladas por la sección de Psicología del Laboratorio Médico de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, para ayudar a reducir las equivocaciones y el tiempo de localización al operar un avión; en la segunda, se muestra una aplicación de la clave de forma a los tableros de control de un avión comercial.

2. *Siempre que sea posible, preubique las herramientas, y materiales.* La figura 47, ofrece una ilustración de un método común para ubicar



Figura 48. Arreglo para preubicar los materiales y asi ensamblar rápida y convenientemente. (Cortesía de la Alden Systems Co.)

herramientas portátiles, en la estación de trabajo. En la figura 48, se ilustra una instalación para preubicar materiales.

3. *Siempre que sea posible, use indicadores simples, mutuamente exclusivos del tipo encender-apagar.* El indicador de luces altas, en el tablero de un automóvil, la luz piloto de la radio o de la cafetera eléctrica, la alarma nocturna en los bancos, la sirena de la alarma del reloj, etc., constituyen ejemplos de indicadores visuales del tipo encender-apagar. En cada uno de estos casos, el indicador ofrece información sobre dos situaciones: encendido-apagado, satisfactorio-no satisfactorio, ausente-presente, emergencia-no emergencia. Siempre que este tipo de información sea adecuado, para los propósitos requeridos, se debe usar el tipo de indicador más simple. Si se usa un arreglo visual más elaborado, que

ofrezca más información de la necesaria, es probable que requiera más tiempo para interpretarlo y que sea más susceptible de equivocaciones que el tipo sencillo. Cuando sea difícil alterar el estado de luminosidad, o que éste sea indeseable, deberá emplearse un indicador sonoro.

4. *Si no basta un indicador simple del tipo encendido-apagado, use, si es adecuado, un indicador de tipo cualitativo.* El indicador cualitativo ofrece información respecto a más de dos condiciones o estados discretos y de número limitado, como se ilustra por el mecanismo para inspección, que se muestra a continuación:

(Rojo)	(Amarillo)	(Verde)
V	V	-t-
Desechar	Corregir	Aceptar

Otros ejemplos se encuentran en los indicadores de las luces direccionales de un automóvil, que indican cuando la señal está encendida, y si se trata de la señal izquierda o derecha; o el indicador de la temperatura, que informa al operador acerca de una temperatura anormal del motor (ya sea alta o baja). Cuando este tipo de información es adecuada para una situación dada, se debe usar el indicador cualitativo en vez del cuantitativo, por razones de la velocidad de interpretación y los errores posibles.

5. *Unicamente cuando sea esencial se debe presentar una información cuantitativa continua en vez de los tipos encendido-apagado y cualitativo.* El termómetro ordinario, el velocímetro y el tablero de la radio, son ejemplos de indicadores que presentan una información cuantitativa continua. La obtención de información a partir de este tipo de indicador, requiere más tiempo y es mucho más susceptible a los errores que los tipos más simples. Desde luego, este tipo de indicadores debe ser usado si se requiere una información cuantitativa. Existen manuales y libros de texto,[3] con numerosas sugestiones basadas en la experimentación acerca de la mejor forma de presentar esta información cuantitativa en forma continua. Sin embargo, existe una tendencia a usar este tipo de indicadores cuando en realidad no se necesitan, lo cual hace más difícil y errática la tarea de la interpretación.

Desde luego, es posible combinar estos tipos de indicadores en una forma tal que pueda usarse de acuerdo con las necesidades de la ocasión. Por ejemplo, los exhibidores visuales en los probadores de tubos electrónicos, son similares al ilustrado en la figura 49. Si se necesita, se puede obtener la información cuantitativa continua, pero, por lo general,

[3] Ver, por ejemplo, *Handbook of Human Engineering Data,* 2nd ed., Tufts College, Medford, Massachusetts, 1952; o Ernest J. McCormick, *Human Engineering,* McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1957; o W. E. Woodson, *Human Engineering Guide for Equipment Designers,* University of California Press, Berkeley, California, 1954.

quien lo use, puede confiar en el exhibidor cualitativo que permite una interpretación rápida y fácil, esto es, malo, dudoso, bueno. La idea anterior puede aplicarse a muchos tipos comunes de indicadores cuantitativos.

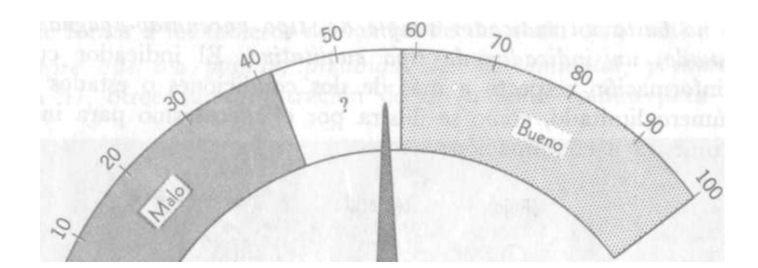


Figura 49. Combinación de exhibidores visuales cualitativo y cuantitativo, que es una posibilidad muy prometedora para muchos exhibidores de información cuantitativa continua

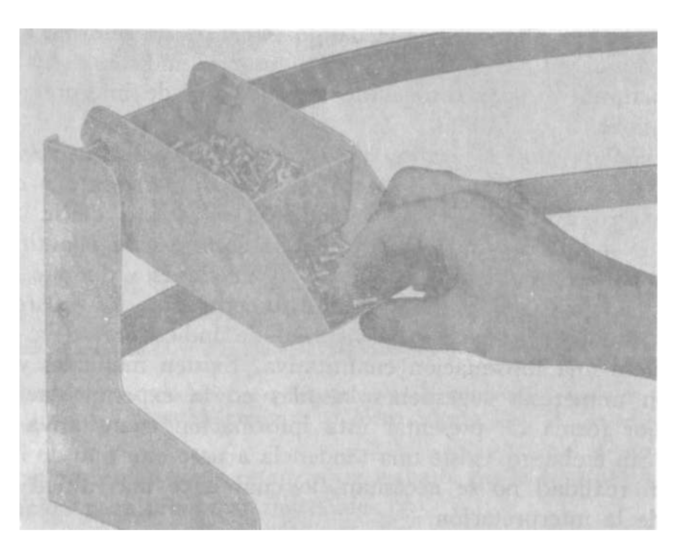


Figura 50. Recipiente con labios qu. permite tomar fácilmente una pieza, desloándola. (Cortesía de la Bathey Manufacturing Company.)

6. *Debe proporcionarse una iluminación adecuada, y sin reflejos.* Existen manuales[4] que proporcionan sugerencias sobre la cantidad adecuada de iluminación para diferentes tipos de situaciones, dependiendo la prevención de los reflejos exclusivamente de la habilidad del diseñador para anticipar tales situaciones.

[4] Mismas fuentes de información

Los principios siguientes, se refieren a la forma en que el hombre actúa (responde a) ante la situación con que se enfrenta.

7. *Colocar los materiales en recipientes o charolas con labios, que faciliten localizar y sujetar las piezas.* La figura 50 ilustra un tipo común de iecipiente para materiales, que se usa para mantener una cantidad moderada de piezas cerca del lugar en que serán usadas, fácil y rápidamente:

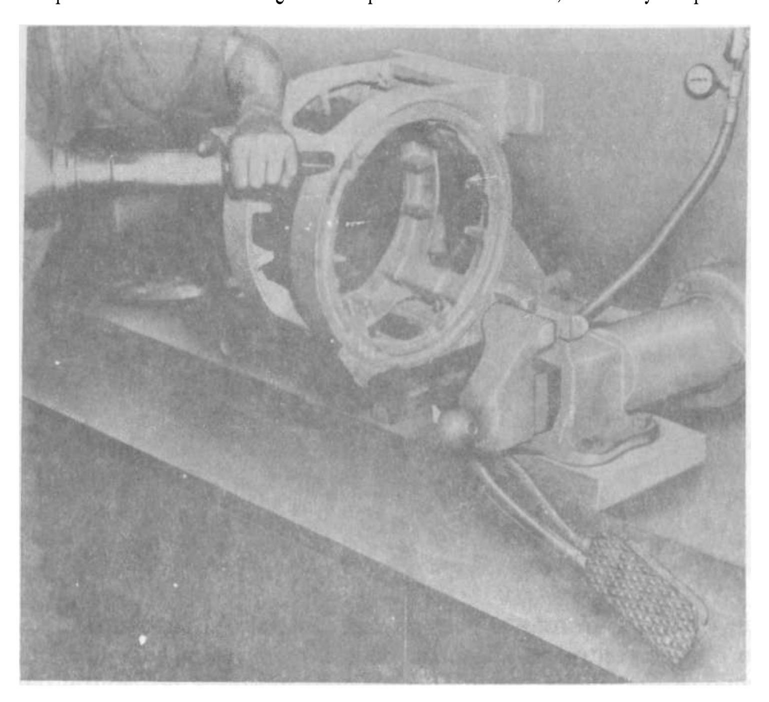


Figura 51. Tornillo neumático de acción rápida que funciona mediante la rodilla del operador. (Cortesía de la Van Products Company.)

en el comercio existe una gran variedad tanto en forma como tamaño de estos recipientes.

8. *Use un tornillo de acción rápida, una abrazadera, o cualquier otro mecanismo, para fijar el material sobre el cual se está efectuando un trabajo.* Existe un gran número de maneras de asegurar una pieza o ensamble, en la posición deseada, bastando para ello un simple movimiento de la mano o del pie. Una forma de mecanismo de acción rápida es el tornillo operado con aire, que se ilustra en la figura 51. De ser posible, estos mecanismos fijadores deben ser controlados con la pierna o el pie. Algunos mecanismos de acción rápida se basan en levas, resortes, presión hidráulica, magnetismo u otros mecanismos, en ocasiones muy ingeniosos, para sujetar y soltar el material y para sostenerlo en una posición adecuada mientras se trabaja en él.

9. *Use topes y guías que reduzcan la inspección necesaria en piezas móviles.* En la figura 52 se ilustra una aplicación de este principio, una de cuyas aplicaciones es la máquina de escribir, en la que existe un tope ajustable que reduce considerablemente el tiempo necesario para regresar el carro al principio del renglón siguiente.

10. *Cuando sea conveniente, los controles deben ser mutuamente exclusivos del tipo simple.* No es difícil encontrar ejemplos cotidianos de este

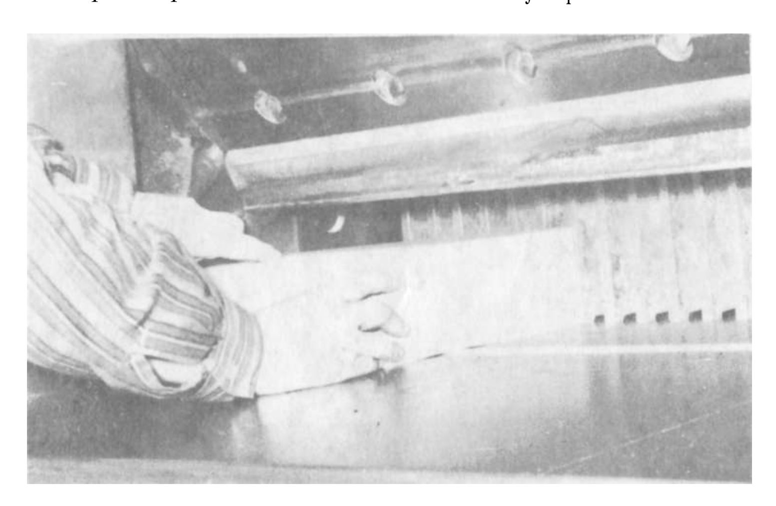


Figura 52. Uso de un tope ajustoble que reduce considerablemente el tiempo requerido para colocar las hojas de papel en una guillotina. (Cortesía de F. Ellsworth Miller.)

tipo de controles, el más común de los cuales es el interruptor eléctrico. Si este tipo de control es adecuado deberá preferirse a cualquier otro más elaborado. En ocasiones, resulta conveniente substituir un control, elaborado por varios del tipo encender-apagar, ya que una mayor simplicidad conduce a un menor tiempo de operación.

11. *En el caso de que no baste un control del tipo encender-apagar, podrá usarse un control con un número limitado de contactos.* Un ejemplo familiar de esto lo constituye el selector de canales de un aparato de televisión. El mecanismo que se ilustra en la figura 53, emplea un control de tipo selector (el selector de salida, abajo a la izquierda).

12. *Use un control de ajuste continuo únicamente cuando sea necesario.* Entre las aplicaciones de este tipo de control podemos citar el botón sintonizador de una radio; asimismo, para el dispositivo de la figura 53, el control de la frecuencia, arriba a la izquierda. La aplicación de este tipo de control, dentro de una precisión razonable, requiere mucho más tiempo que un selector del tipo encender-apagar.

El control de ajuste continuo debería usarse únicamente cuando sea esencial la flexibilidad ofrecida por este tipo de control; sin embargo, no siempre es esencial obtener un número infinito, ni siquiera muy grande de

contactos diferentes; en estas ocasiones, es adecuado un control del tipo selector. El selector de botones de estaciones de radio, es un ejemplo de cómo el control del tipo selector reemplaza al control de ajuste continuo. De ser necesario se pueden obtener ambos tipos de control, consiguiéndose así las ventajas de ambos, a saber: flexibilidad y rapidez.

Tanto en manuales como en libros de texto[5] puede encontrarse una amplia información respecto a las características de diseño deseadas en los



Figura 53. Mecanismo que emplea los tres tipos básicos de controles: encender-apagar, selector y de ajuste continuo. (Cortesía de la Kay Electric Company.)

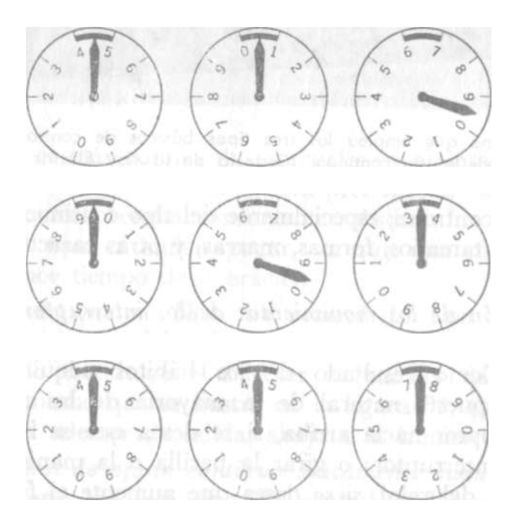
diversos tipos de controles, especialmente del tipo continuo; haciendo hincapié en las claves, tamaños, formas, marcas, y otras características de diseño de controles.

1 3 . *La dirección de los movimientos de los interruptores, palancas, ruedas direcdónales, perillas y otros controles debe ajustarse a las reacciones estereotipadas.* Como resultado de los hábitos adquiridos desde edad temprana, la respuesta natural de la mayoría de las personas es la de mover un interruptor hacia arriba, si se desea que se inicie el fenómeno que controla el interruptor; o girar la perilla o la manivela en el sentido de las manecillas del reloj, si se desea que aumente el fenómeno en cuestión, como en el caso del control del volumen en una radio. Este tipo de respuestas se conocen con el nombre de reacciones estereotipadas; y un control con una respuesta contraria a la reacción estereotipada para esa situación, puede ser inconveniente, consumir tiempo extra, y en ocasiones, ser peligrosa. Con un poco de meditación, el diseñador puede predecir

[5] Mismas fuentes de información.



Exhibidor con indicadores dispuestos sin orden



Exhibidor con indicadores dispuestos ordenadamente

Figura 54. Comparación entre una disposición sin orden, y otra ordenada pea el mismo conjunto de indicadores (reproducido con la autorización de Chapanis, Garner, and Morgan, Applied Experimental Psychology, 1949, John Wiley and Sons.)

la manera en que la mayoria de las personas reaccionará ante una determinada situación de control; en otras ocasiones, tendrá que recurrir manuales, o a la experimentación, para determinar este tipo de reacciones.

Los principios relacionados con ¡a distribución. A continuación se mencionan ejemplos respecto a la distribución de instalaciones y materiales, y sus efectos en la recepción de información.

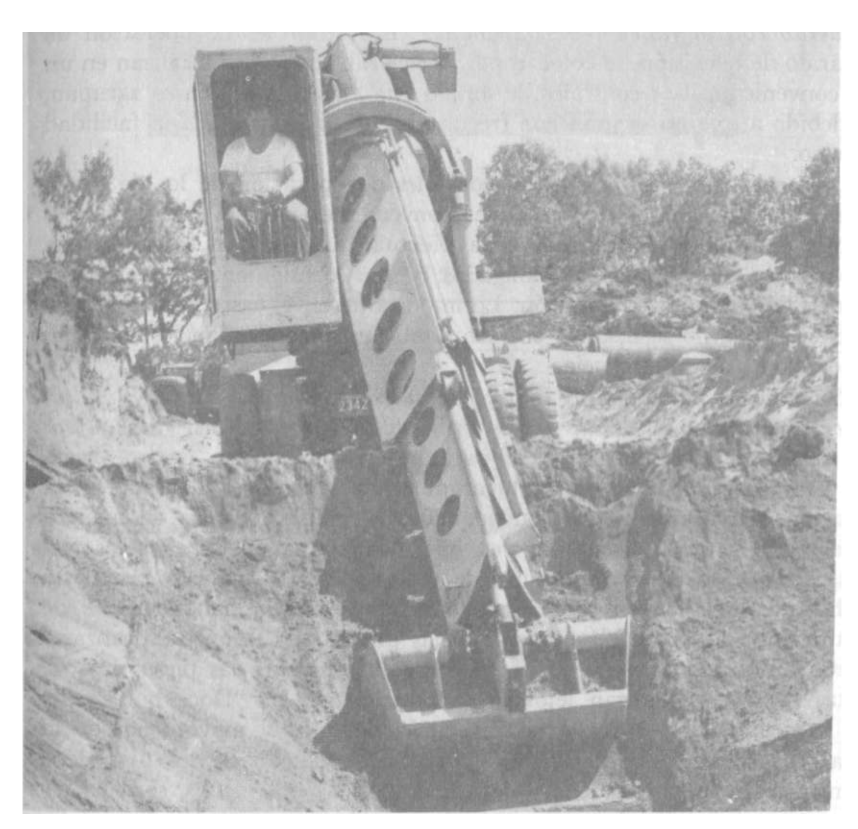


figura 55. Caso en el que el operador tiene una visibilidad excelente de la situación que él controla. The Warner and Swasey Company's Gradall. (Cortesía de la Warner and Swasey Company.)

1. *Los cuadrantes graduados y otros tipos de indicadores deben distribuirse en tal forma que se obtenga el máximo de información, con un mínimo de tiempo y error.* Un ejemplo de una distribución apropiada, se ilustra en la figura 54, pudiendo apreciarse la importancia de la distribución, respecto a tiempo y errores en la interpretación.

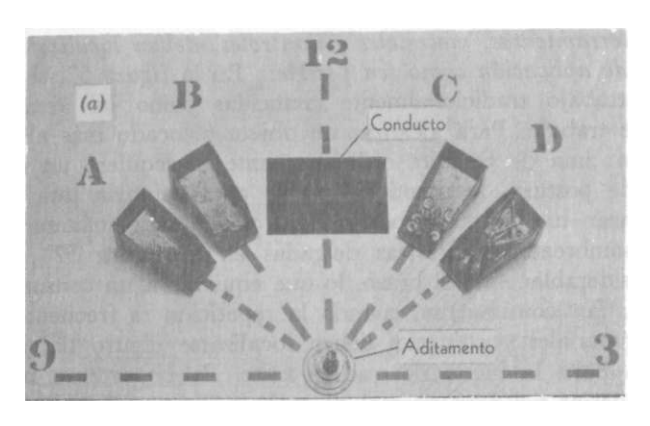
2. *La relación física entre el operador y el equipo, debe permitir la máxima visibilidad de la situación.* En la figura 55, se ilustra un ejem-

pío en que el operador tiene una visibilidad excelente de la situación que él controla. El Bulldozer común y el montacargas, son dos ejemplos familiares de situaciones en las que los diseñadores no han podido todavía lograr una visibilidad aceptable para el operador. En el caso del montacargas, con frecuencia es difícil para el operador ver la posición de las puntas del montacargas con relación a la carga que se pretende levantar, y cuando está en movimiento, la carga le impide totalmente ver lo que está delante de él.

3. *Los controles de operación, sonido y emergencia, deben agruparse de acuerdo con la función desempeñada.* Los controles de operación de un aparato de televisión, se colocan por lo general juntos y se localizan en un lugar conveniente. Los controles de sonido (de ajuste) también se agrupan, pero debido a que no se usan con frecuencia, no es muy crítica la facilidad de acceso.

En general, conviene separar los controles de operación de los de emergencia, y colocar ambos en posiciones convenientes para el operador. Los controles de sonido se utilizan para efectuar ajustes que se mantienen por períodos de operación prolongados, y por consiguiente, tienen poca prioridad en cuanto a localización. Lo importante en el caso de este tipo de controles, es que no se instalen en forma tal que se confundan los controles de operación y de emergencia.

4. *Cuando los movimientos controlados visualmcnte se ejecuten simultáneamente, los puntos donde éstos terminan deben colocarse tan juntos como sea posible.* Supóngase que para el ensamblado de cuatro piezas A, B, C, y D, se dispone de un lugar de trabajo como el ilustrado en la figura 56a, y que estas piezas son pequeñas y complicadas, de tal manera que se requiere que el operador vea hacia cada una de las charolas con piezas, antes y mientras toma una de éstas. El procedimiento propuesto inicialmente se indica en la gráfica de mano izquierda-mano derecha de la figura 56b, pudiendo observarse que las piezas A y D deben alcanzarse y sujetarse simultáneamente; se procede igualmente para las piezas B y C. Si estas piezas se localizan lejos de la posición de las "Doce horas" del reloj, aumentan el tiempo de la trayectoria del ojo, el movimiento de la cabeza, y el tiempo de ejecución. Cuando la atención de los ojos debe concentrarse en los movimientos efectuados por las dos manos, se debe reducir a un mínimo la distancia entre los lugares en que se realizan tales movimientos. En la figura 56c, se ilustra una distribución mejorada, en la que la localización de las piezas A y D se ha cambiado hacia la posición de las "12 horas" en el reloj, en donde se encuentran las piezas By C, pero en un **2"** sujetador de charolas, varios centímetros arriba de las charolas que contienen a las piezas B y C. En la distribución original, el movimiento consistente en dejar caer los ensambles terminados dentro del conducto, que es el movimiento que requiere menor dirección visual, se localizaba en el punto más valioso con respecto a la atención visual requerida. A continuación, se muestran varios ejemplos de distribuciones y sus efectos en la respuesta.



(b) Gráfica de mano izquierda-mano derecha

Mano izquierda			Mano derecha
Pieza A	*G**	*G**	Pieza *D*
Pieza A	*P*	*P*	Pieza *D*
Pieza A	*A*	*A*	Pieza *D*
Pieza B	*G**	*G**	Pieza C
Pieza B	*P*	*P*	Pieza *C*
Pieza B	*A*	*A*	Pieza C
Ensamble del conducto inclinado	*P*	*D*	Espera a la mano izquierda

* Atención visual requerida simultáneamente para asir con ambas manos.

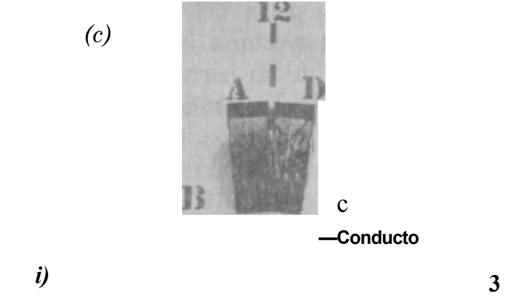


Figura 56. Distribuciones conveniente (c), e inconveniente (a) para la operación descrita en (b), en la que existe una incompatibilidad entre la atención visual y los movimientos.

5. *Las herramientas, materiales y controles, deben localizarse tan cerca del punto de aplicación como sea posible.* En la figura 57, se ilustran dos zonas de trabajo tradicionalmente conocidas como las áreas normal y máxima de trabajo. Para alcanzar un objeto colocado más allá del límite del área m :ima de trabajo, ordinariamente se requiere un cambio considerable de postura, la repetición de lo cual causaría una gran fatiga. Para alcanzar un objeto colocado dentro del área máxima de trabajo (el área sombreada con líneas delgadas en la figura 57), se requiere mover considerablemente el brazo, lo que equivale a un consumo adicional de energía. Por consiguiente, cuando la repetición es frecuente, las herramientas, materiales y controles deben localizarse dentro del área normal de trabajo para la mano de que se trate. Es importante notar que la frontera exterior del área normal de trabajo, *es un límite,* que constituye lo más retirado que los materiales deben estar del operador, con el objeto de mantenerlos dentro de un alcance normal y conveniente. Por curioso que parezca, muchos de los que practican esta especialidad se sienten obligados a colocar los materiales a lo largo del límite de esta área, lo cual es absurdo ya que se amplían innecesariamente los movimientos de transportación. Otra práctica indeseable es la de distribuir charolas con materiales, a lo largo de un semicírculo innecesariamente grande, como se ilustra en la figura 58a; el que de ninguna manera se adapta a los dos arcos del área normal de trabajo, lo que parece ser la regla y no la excepción. Fácilmente puede apreciarse que en esta forma se desperdicia un gran espacio. Los materiales, herramientas y controles deben colocarse de tal manera que no causen congestión e interferencia, pero lo más cercanos posible a su punto de aplicación, como se muestra en la figura 58b.

6. *Siempre que sea posible, los movimientos de las manos deben ser simultáneos, y en direcciones simétricamente opuestas.* Este principio origina el "lugar de trabajo simétrico", mostrado en la fig. 59, que se encuentra con frecuencia. Los movimientos de la mano izquierda y derecha, deben iniciarse y terminar tan simultáneamente como sea posible,) deben ser simétricos con respecto a un plano vertical que pasa por el centro del lugar de trabajo, y perpendiculares al plano del operador. Ordinariamente, los movimientos con este tipo de trayectoria implican una instalación doble y, ocasionalmente, un duplicado de las herramientas y otros accesorios; sin embargo, la instalación doble no es absolutamente necesaria si se sigue este tipo de movimientos en la operación bimanual que se ilustra en la figura 56, los movimientos son predominantemente simultáneos y simétricos con respecto al "plano vertical de las 12 horas", pero las piezas manejadas con las manos izquierda y derecha, son diferentes. Por lo que basta una sola instalación.

7. *Las herramientas y los controles deben colocarse en tal forma que se maximicen la velocidad y la facilidad de localización, y se minimicen los errores.* El diseño de la cabina de un avión, es una ilustración

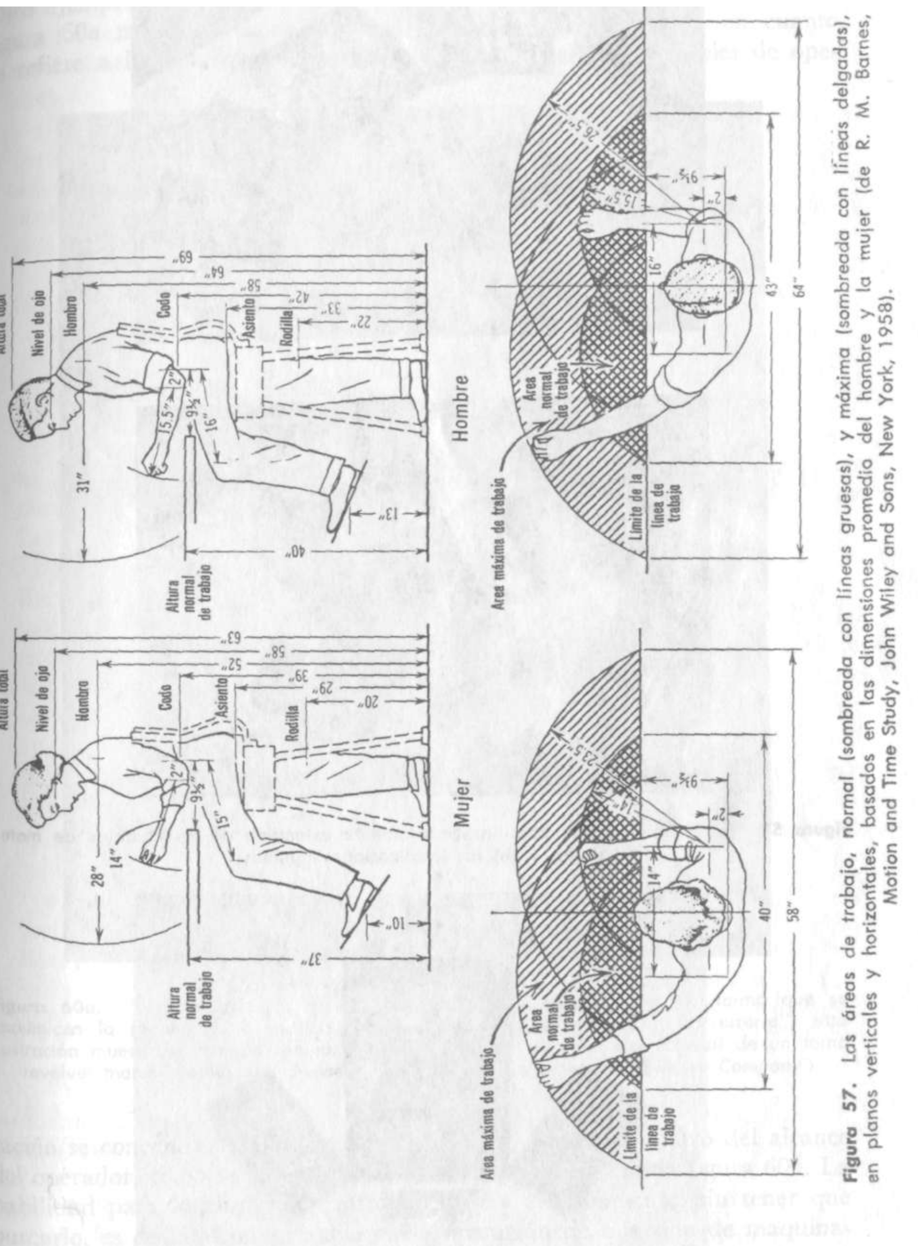


Figura 57. Las áreas de trabajo, normal (sombreada con líneas gruesas), y máxima (sombreada con líneas delgadas), en planos verticales y horizontales, basados en las dimensiones promedio del hombre y la mujer (de R. M. Barnes, Motion and Time Study, John Wiley and Sons, New York, 1958).

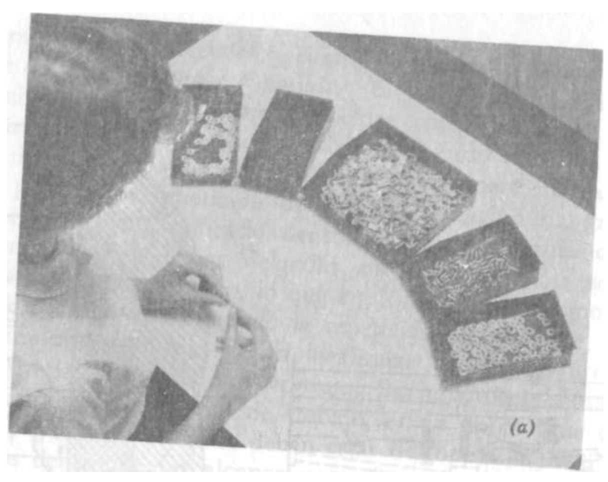




Figura 58. (a) arreglo común, pero innecesariamente extendido de las charolas de material; (b) las localizaciones óptimas.

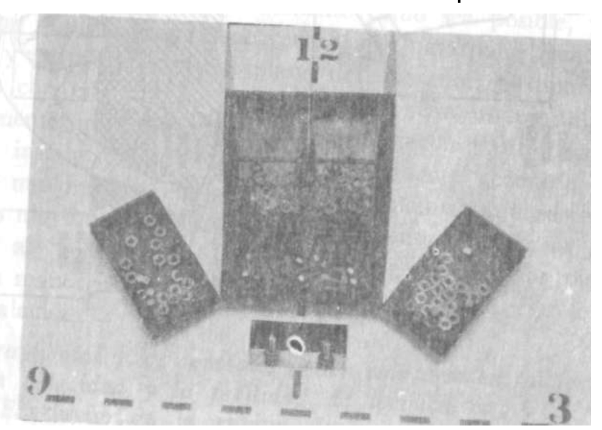


Figura 59. Distribución del lugar de trabajo ... feamente opuesta ...

í^sica de la necesidad de aplicar concienzudamente este principio, ya c p en esta situación son críticos la rapidez y el mínimo de errores, n o ejemplo lo constituye la consola de un órgano de gran tamaño. La wra 60a muestra una máquina herramienta bien diseñada, en cuanto f refiere a los controles y posición de los mismos. Los controles de ope-

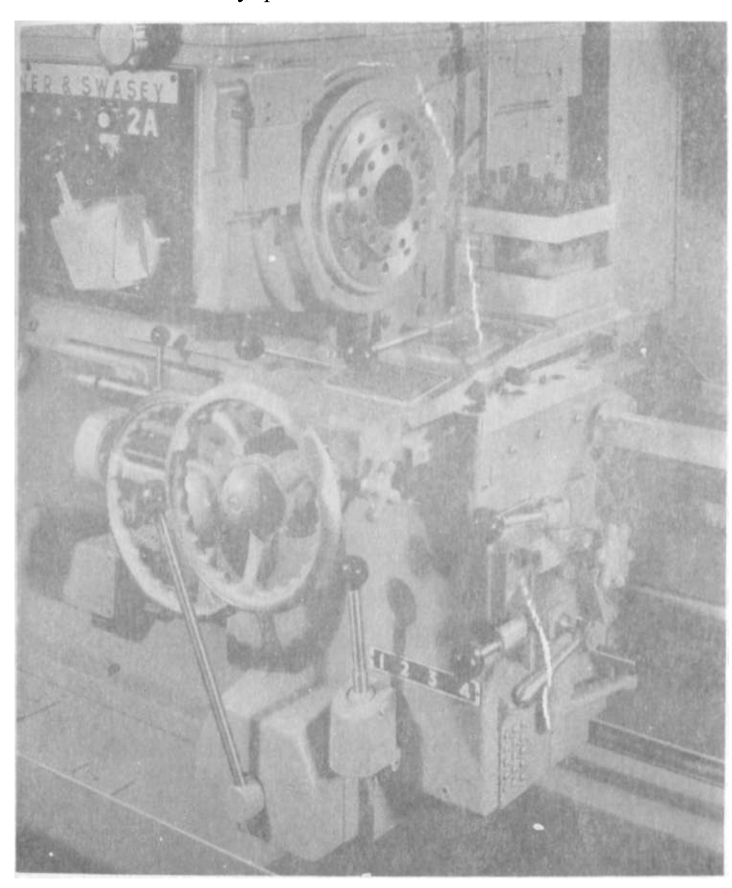
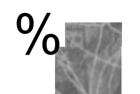


figura 60a. "Las herramientas y los controles, deben colocarse en tal forma que se roaximicen la rapidez y la facilidad de localización y se minimicen los errores"; esta ilustración muestra el arreglo compacto de los controles, al final del cabezal de un torno revólver marca Warner and Swasey. (Cortesía de la Warner and Swasey Company.)

ración se concentran en un área relativamente pequeña, dentro del alcance del operador, como se indica en el ciclograma ilustrado en la figura 606. La habilidad para localizar un control, rápida y efectivamente, sin tener que buscarlo, es de vital importancia en la operación de este tipo de maquinaria, ya que el operador debe dirigir su mirada hacia el punto donde está cortándose el metal.

Aplicabilidad de los principios anteriormente citados

Pocos de los principios mencionados son apropiados para todas las sitúa, ciones en las que podrían suponerse aplicables, para ilustración de lo cual



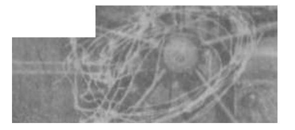


Figura 60b. Un cidograma, usado para demostrar la facilidad para alcanzar los controles de operación importantes, del torno ilustrado en la figura 60a. (Cortesía de la Warner and Swasey Company.)

consideramos el caso en que una trayectoria de movimiento bimanual sea posible y conveniente; sin embargo, no siempre lo mejor o más sensato es que los movimientos principien y terminen simultáneamente, o que sean simétricamente opuestos. Este ejemplo permite apreciar que existe la posibilidad de que los principios anteriores se apliquen erróneamente, ya que no se pueden generalizar para todas las situaciones; sin embargo, para propósitos prácticos no es conveniente limitar estas generalidades.

simplemente porque no tengan sentido en *trdos* los casos en que pudieran aplicarse. Por otra parte, estos principios no pueden publicarse como generalidades, ya que en la mayoría de las aplicaciones no tienen ningún efecto, y a veces negativo; lo correcto es considerarlos como una posición intermedia, entre una restricción ilógica, y una generalización injustificable.

Otra característica conveniente de un conjunto de principios como los mencionados anteriormente, consiste en omitir a los menos útiles, para así evitar que el lector pretenda dar igual importancia a todos ellos. No obstante que lo anterior sólo puede lograrse después de una experiencia prolongada con un conjunto de principios, la mayoría de las listas publicadas actualmente no se han beneficiado en este respecto, aun después de importantes décadas de existencia.

Orígenes de los principios anteriores

Los principios presentados se derivan de dos fuentes principales. Una la constituyen el conjunto de conocimientos tradicionales en el campo del estudio de tiempos y movimientos, que comúnmente se conocen como los principios de la economía de movimientos, debidos en gran parte a Frank y Lillian Gilbreth, posteriormente modificados y ampliados por Barnes[6] y otros. Los principios de la economía de movimientos, mencionados en los libros de texto sobre el estudio de tiempos y movimientos, naturalmente requieren el uso de herramientas apropiadas, de recipientes con labios, de trayectorias de movimientos simultáneas y simétricamente opuestas, etc. Estos principios son predominantemente empíricos, basados en el sentido común, y justificados por muchos años de aplicación en la práctica.

La segunda fuente principal de información, consiste en un extenso caudal de conocimientos establecidos y aplicados por sicólogos y fisiólogos, relacionados con el ser humano y con su integración dentro del sistema "hombre-máquina". Estos conocimientos recientemente aplicados han llegado a constituir una especialidad conocida como ingeniería humana. Esta especialidad se originó durante la Segunda Guerra Mundial, cuando los militares se percataron de las grandes emergencias que, respecto al operador, presentaban los nuevos armamentos, debido a su complejidad, rapidez, y precisión de operación; por lo cual, hubo que designar a psicólogos, para ayudar a determinar el papel del hombre dentro del sistema militar, y con respecto al equipo con el cual estaba asociado. Desde entonces, estos peritos ayudan a diseñar las cabinas de los aviones, los mecanismos del radar y del sonar, los controles de los buques, etc. No obstante que los especialistas en la ingeniería humana concentraron sus esfuerzos iniciales en el aspecto militar, desde el final de la guerra sus actividades e intereses

[6] R. M. Barnes, *Motion and Time Study,* 4th ed. John Wiley and Sons, Nueva York, 1958.

se extendieron al diseño de sistemas industriales, de artículos Upa los productores y los consumidores. Nótese que el especialista en es"t-^ rama, se enfrenta al mismo problema básico que el ingeniero de métodos. , ea la adaptación del ser humano dentro de un sistema; sin embargo, £¿j atece que, sólo recientemente, el especialista en la ingeniería human- ha dedicado a problemas de la industria, mientras que el ingeniero de irr'odos lo hace desde hace mucho tiempo.

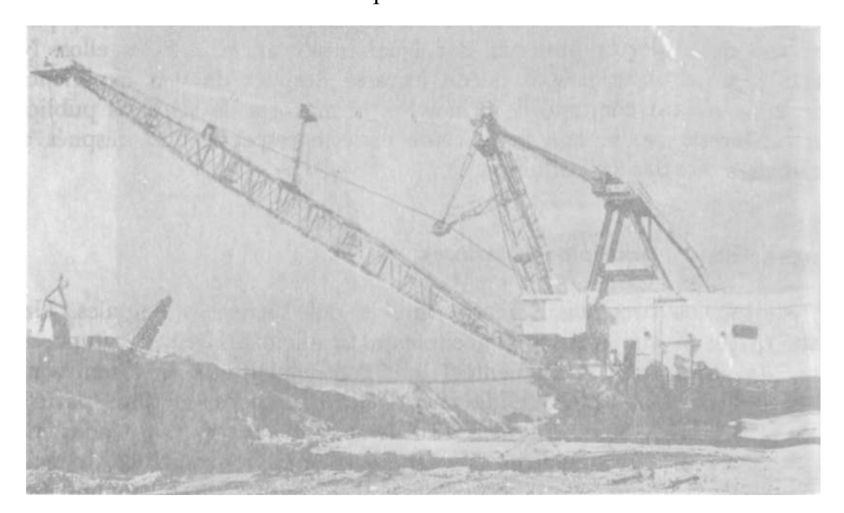


Figura 61a. Pala mecánica en la que se muestra la cabina de control (^n lea ¡ate superior izquierda de la unidad de fuerza), rediseñada por especialistas en» ¡ng"«ía humana. (Cortesía de International Minerals and Chemical Corporation y de CDuril*[1] Associates.)

En la figura 61 se muestra un proyecto típico, no militar, de la iingeaa humana en el que los especialistas de la misma tomaron a su caí! si rediseño de la cabina de una pala mecánica de gran tamaño, fisagura La cabina (en la parte superior izquierda de la unidad principal 1) es *x,* antes de ser cambiada de lugar, en una posición que restringí^ la- «la-bilidad del operador, pudiendo apreciarse que la nueva localizacicón CJ e una visibilidad excelente de la situación bajo control del operradoi El interior de la cabina, figura 61 *b,* está bien diseñada, desde el punteo de a de la ubicación, tipo, y compacto de los controles, empleándose do£ pi-lancas de mano para la mayoría de las maniobras asignándose una* pagara para cada mano. En la figura 61c, se muestra la distribución de^;l ta bit) de los controles.

La calidad de los conocimientos aplicados en cada una de las e:espec;il-dades mencionadas, es otra de las principales características que • las tinguen; ya que mientras los principios desarrollados y aplicados 5 por s ingenieros de métodos, son escasos, empíricos y en ocasiones de s va' dudosa, los derivados y aplicados por lo especialistas en la iixngenwia humana son muy extensos y se establecieron por medio de la invese stig»[1]*



Figura 61b.. Interior de la cabina de la pala mecánica en el que se muestran los controles y su relación con el operador. Las manos del operador descansan sobre las palancas del mando, con las cuales él controla todos los movimientos de la cubeta y del brazo. (Jay B. Levitón for Fortune.)

A—Freno par) ti movimiento giratorio
B—Freno de la {rúa
C — Freno de la draga
D— Propulsor de la draga
E—lucos de la cabina
F — Atenuador de las luces de los instrumentos

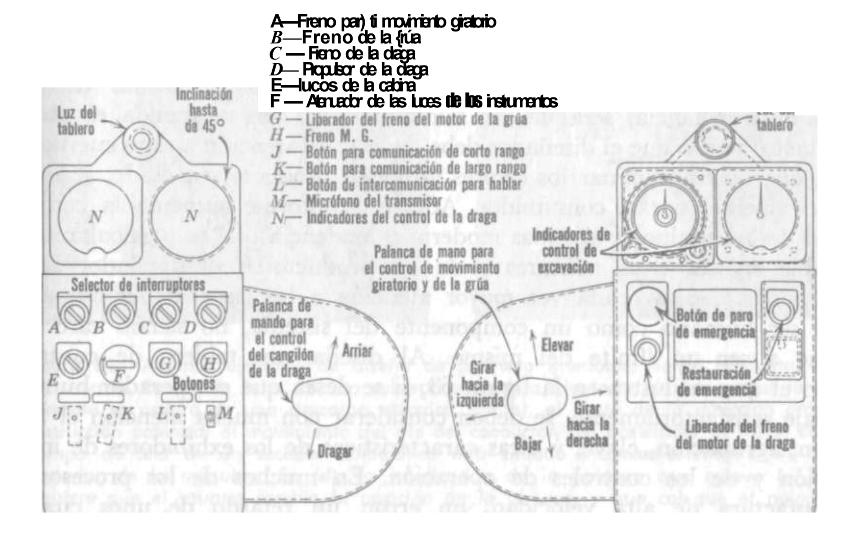


Figura 61c. Distribución de los tableros izquierdo y derecho, desde los cuales se controlan ia-. actividades de la pala mecánica. Nótese lo compacto y sencillo de los controles. (De Revolution in Control", Engineering and Mining Journal, Abril 1954, con permiso del editor.)

científica. Por este motivo, a la ingeniería de métodos corresponde asimilar el conocimiento puesto a su disposición por la ingeniería humana, y aplicarlo en la práctica, simultáneamente con los principios de la economía de movimientos; precisamente esa fue la idea bajo la que se formularon los principios que se presentaron, siendo esencialmente una combinación de los principios más útiles de ambas especialidades. A partir de allí, injustificadamente se les ha considerado como dos ramas independientes del conocimiento, habiendo incluido únicamente una parte mínima de los datos obtenidos en la ingeniería humana. En los libros de texto y manuales,[7] pueden encontrarse recomendaciones detalladas.

La importancia de los principios mencionados

Estos principios, además de ser directamente útiles para un ingeniero que trabaje en el diseño de métodos, tienen una utilidad potencial muy diversa; por ejemplo muchos lectores, como gerentes o supervisores, serán responsables, directa o indirectamente, de vigilar y evaluar los trabajos y logros del departamento de la ingeniería de métodos; por cuyo motivo pueden distinguir entre un buen método de trabajo y uno malo, y para lograr lo anterior, es necesario tener una cierta familiaridad con los principios mencionados. Probablemente, muchos lectores lleguen a ser diseñadores de armamentos, de artículos para el productor, o para el consumidor, e indiscutiblemente en una forma u otra, incluirán al ser humano como usuario o servidor. En cualquier circunstancia en la que el hombre deba usar o prestar servicio a un producto, el diseñador del mismo deberá hacer un uso extenso de estos principios y de la filosofía que implican; en la figura 62 se muestran algunos "testimonios vivientes" de lo que puede suceder al no considerarlos, pudiéndose encontrar muchos otros en nuestro propio hogar. Aparentemente, el diseñador se olvida de que, en última instancia, será un ser humano quien use o atienda el propio producto; por lo que el diseñador debe dedicar su atención a estas cuestiones, si es que quiere eliminar los errores y que su producto sea usado, segura y efectivamente, por el consumidor. Además, conforme aumenta la complejidad de los equipos y sistemas modernos, tendencia que es particularmente notable en las áreas militares y de los productores, el diseñador se ve obligado a dedicar cada vez mayor atención a las capacidades humanas, y al ser humano como un componente del sistema, no siendo raro que llegue a ser un límite del mismo. Al diseñar un tablero de controles como el que se ilustra en la figura 63, si se desea que el operador humano trabaje satisfactoriamente, se deben considerar con mucha atención el tipo, orden, agrupac'ón, clave, y otras características de los exhibidores de información y de los controles de operación. En muchos de los procesos de manufactura de alta velocidad, un error, un retardo de unos cuantos segundos, o un cálculo equivocado de parte del operador, puede traer

[7] Wodson; McCormick; Tufts Handbook; citado anteriormente.

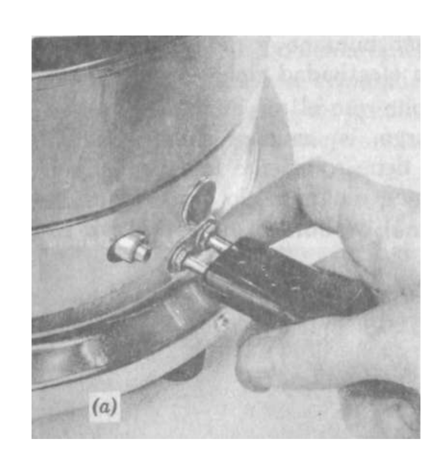


Figura 62. Algunos ejemplos de diseño de producto inferiores, desde el punto de vista del usuario. En (a), la falta de una cubierta protectora alrededor de las puntas terminales, presenta el peligro de una descarga eléctrica. En (b), el poste de la dirección ofrece una obstrucción potencial al movimiento del pie del conductor, del acelerador al freno. En (c), la trampa de tela de un secador automático está situada inconvenientemente en la parte posterior de la máquina. En (d), la localización de la palanca que mueve la película, requiere que el usuario cambie la posición de la cámara, y que coloque el pulgar sobre el visor para efectuar el cambio (del Consumers Reports, Consumers Union of United States, Mount Vernon, N. Y., con permiso de los editores).

como consecuencia una pérdida cuantiosa, debido al equipo y material dañados. El diseño de las tareas del ser humano y de las herramientas que él utiliza, es muy importante para la efectividad global del sistema.

En la discusión que precedió, se supone que el ser humano es un componente directo del sistema; sin embargo, en muchos sistemas actuales, militares y de manufactura, el hombre tiene solamente una pequeña participación en forma directa y, en ocasiones, ninguna. No obstante, es cierto

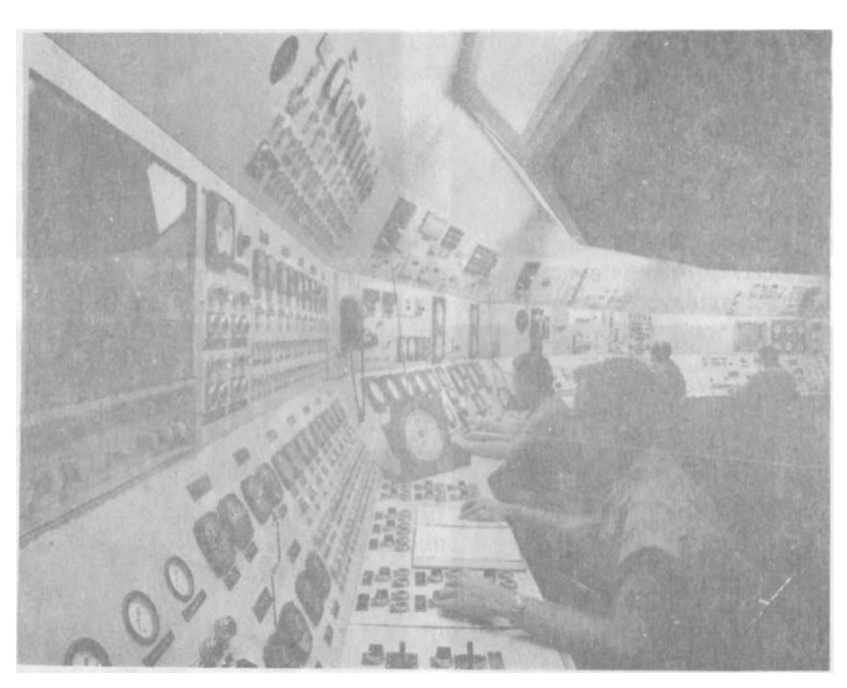


Figura 63. El cuarto principal de controles para un gran túnel aerodinámico. El diseñador de un tablero de controles complejo, como éste, debe considerar cuidadosamente los medios por los que el operador recibirá la información acerca del sistema, y la forma en que responderá. (Del Westinghouse Engineer, March, 1960, con permiso de los editores y de la fuerza aéreo de los E.U.A.).

que el hombre juega un papel indirecto vital al prestar servicio a la máquina, al localizar y resolver los problemas, como supervisor, y al efectuar trabajos de reparación. Una compañía que tenga una máquina automática costosa, pierde dinero por cada minuto que la máquina permanece ociosa durante su reparación; por tanto, la gerencia de esta compañía estará interesada, vitalmente, en que el sistema sea diseñado de tal manera, que permita al hombre localizar, resolver los problemas y hacer la reparación en un mínimo de tiempo, siendo éste el movimiento por el cual los compradores de equipo costoso de producción, exigen cada día más que los sistemas sean diseñados cuidadosamente con respecto a su operación y reparación.

Junto con el problema de tener que diseñar el producto para el consumidor final, existe el problema crucial de diseñar el producto de tal manera que su manufactura sea económica, y para lograr lo anterio , es necesario que el diseñador se familiarice con los métodos económicos de trabajo y, consecuentemente, con los principios mencionados.

Otros auxiliares en la elaboración de las alternativas

Los principios mencionados en este capítulo, constituyen una fuente importante y útil de soluciones posibles (alternativas) ; sin embargo, su utilidad está limitada hasta un cierto punto, más allá del cual, el diseñador dependerá de su propio ingenio para generar las alternativas. De hecho, en muchos casos, la inventiva del diseñador es la principal fuente de alternativas, y por ello los medios mencionados antes para incrementar su inventiva, serán aquí de gran utilidad. Una de estas sugerencias es el uso de la lista de verificación; en la mayoría de los libros de texto sobre esta especialidad, se encuentra un gran tipo de ellas, todos de gran utilidad para el diseñador de métodos. A partir de estas listas y de su experiencia propia, el diseñador de métodos puede elaborar una lista de verificación de preguntas y de ideas, lo que dará como resultado un perfeccionamiento en su método de trabajo. Las listas de verificación pueden ser muy generales o muy detalladas, como lo demuestran las siguientes listas.

La más amplia y simple de las listas:

Procedimiento
Equipo
Distribución

puede usarse para estimular la generación de una variedad de posibilidades, bajo una de esas categorías.

La siguiente es una lista de verificación más elaborada, y que se incluye en la mayoría de los libros de texto, sobre el terna del estudio de movimientos.

1. ¿Puede eliminarse este elemento? (por ejemplo, transportación, operación, sujetar, sostener, etc.).
2. ¿Puede *combinarse* este elemento con alguno otro?
3. ¿Puede cambiarse ventajosamente la *secuencia* de los elementos?
4. ¿Puede *simplificarse* este elemento?

Las siguientes series de preguntas ilustran la aplicación de las listas de verificación, en un nivel "microscópico".

Tomar

1. ¿Puede reducirse la distancia?
2. ¿Para cualquier ciclo se encuentran las herramientas y los materiales siempre en el mismo lugar?

3. ¿Se encuentran los materiales dentro de recipientes, desde los cuales se pueden tomar fácilmente? ¿Pueden usarse recipientes con labios?
4. ¿Pueden colocarse sobre un tapete de hule espuma las piezas difíciles de tomar (delgadas, angostas) para facilitar la operación de sujetarlas?
5. ¿Puede usarse clave de forma o de color?
6. ¿Puede utilizarse un tipo más simple de control?

Colocar

1. ¿Puede reducirse la distancia?
2. ¿Pueden usarse topes, guías, clavijas fijadoras, etc., para reducir el tiempo de colocación?
3. ¿Pueden deslizarse las piezas, en vez de cargarse?
4. ¿Puede usarse un embudo o un punteador para facilitar la colocación?
5. ¿Puede precolocarse el objeto, antes o durante la transportación?

Usar

1. ¿Pueden cambiarse dos o más herramientas?
2. ¿Deben usarse herramientas automáticas?
3. ¿Se diseñaron adecuadamente los mangos, manivelas, perillas y palancas, para obtener una velocidad máxima y facilitar la operación?

Ensamblar

1. ¿Puede un mecanismo sostener el material, mientras el trabajador trabaja en él? ¿Dicho mecanismo puede operarse con el pie?
2. ¿Puede usarse un mecanismo electromagnético para sostener ese mecanismo?

Sostener

1. ¿Puede usarse para la sujeción una abrazadera, un tornillo de mesa, el vacío, un electromagneto, o cualquier otro mecanismo?

Desechar

1. ¿Puede efectuarse esta operación dejando caer la pieza?
2. ¿Puede efectuarse esta operación, mientras la mano está en movimiento?
3. ¿Puede dejarse caer el material directamente, desde el mecanismo que lo sujeta hasta un recipiente?

Resumen

Las alternativas con las que se enfrenta el diseñador de métodos se refieren principalmente a: 1) el papel del ser humano dentro del proceso

en términos de las funciones que él efectuará directamente (medir, manipular, transportar), e indirectamente (mantenimiento, localización y solución de problemas, monitor); y 2) la forma en que el ser humano puede desempeñar más eficientemente estas funciones. Para ayudarse en la generación de las soluciones posibles (alternativas), el diseñador puede recurrir a los medios generales para aumentar la inventiva ya mencionados en el capítulo 5, y a la recopilación de principios que se refieren al método óptimo de trabajo.

Ordinariamente, esta parece ser la fase en la que la solución actual se analiza, si tal cosa se justifica. Con frecuencia, el método actual adolece de defectos: una mala distribución, o procedimientos que pueden ser corregidos a bajo costo, lo que hace al método más competitivo en cuanto al costo de operación. Si éste es el caso, conviene analizar todas las características de la solución actual, especialmente la distribución y el procedimiento. Con tal fin, se pueden usar provechosamente varias de las gráficas y diagramas convencionales.

EJERCICIOS

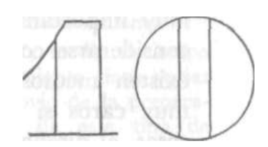
1. Los ingenieros a cargo del trabajo de diseño de métodos, exhiben con frecuencia una falta alarmante de imaginación para mejorar los métodos de manufactura en su planta. Los métodos que ellos sugieren parecen ser estereotipados; sin embargo, si por una razón u otra, tienen una oportunidad de demostrar lo que ellos pueden hacer, para mejorar los métodos de trabajo de operaciones con las que no están familiarizados, entonces, las soluciones que ellos encuentran son gratamente originales. ¿Cómo puede explicar usted ésto?, ¿qué sugiere usted para mejorar esta situación?

2. Haga un análisis y una evaluación completos, por escrito, de los controles de operación y de los exhibidores de información, para una de las siguientes piezas de equipo. Discuta los tipos diferentes, las características buenas y las malas. Las alteraciones al diseño que usted recomiende, etc.

a. Un proyector de cine.
b. Una cámara de cine.
c. Una máquina de escribir.
d. Un bulldozer.
e. Una cámara de 35 mm.
/. Un automóvil.
g. Una cocina eléctrica completa.

REFERENCIAS

Barnes, Ralph M., *Motion and Time Study,* 4th ed., John Wiley and Sons, Nueva York, 1958.
Chapanis, Alphonse, Wendell R. Garner y Clifford T. Morgan, *Applied Experimental Psychology,* John Wiley and Sons, Nueva York, 1949.
McCormick, Ernest J., *Human Engineering,* McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1957.
Schnorr, Charles G., "Human Engineering", *Journal of Industrial Engineering* vol. 9 N' 6, noviembre-diciembre, 1958.
Woodson, Wesley E., *Human Engineering Guide for Equipment Designers,* University of California Press, Berkeley, California, 1954.
Handbook of Human Engineering Data, 2nd. ed., Tufts College, Medford, Mass.,



Diseño de métodos: Evaluación de las alternativas y especificación de una solución

En las ocasiones en que la evaluación es más que puramente subjetiva, el proceso de evaluación se efectúa como se mencionó anteriormente, es decir:

1. Señalar los criterios específicos.
2. Predecir el comportamiento de cada alternativa con respecto a estos criterios.
3. Convertir las estimaciones hechas respecto al comportamiento, a términos monetarios.
4. Comparar las alternativas tomando como base criterios cuantificables e intangibles.
5. Seleccionar la mejor alternativa.

Es probable que el paso más problemático de este procedimiento, sea el de la predicción del comportamiento de las alternativas, ya que para cada una de ellas el diseñador deberá indicar claramente las siguientes características:

Tiempo de producción y aprendizaje, mantenimiento y esfuerzo necesarios, fatiga, etc., siendo, a este respecto, mucho más difícil predecir el comportamiento del ser humano que el de los fenómenos, ya que, además de las diferencias en la personalidad, los individuos pueden reaccionar de muy diferente manera, ante situaciones tales como el aprendizaje, la fatiga, la monotonía, los cambios de motivación, las causas fortuitas, etc.; aparte de que el comportamiento de una persona suele ser

muy especial, cuando se encuentra sujeta a observaciones y mediciones por parte del ingeniero de métodos.

Si esto no fuera suficiente, un porcentaje muy alto de los criterios ^i) esta especialidad son virtualmente imposibles, o prohibitivamente difíciles de cuantificar. Un gran número de criterios, que en ocasiones suelen ser muy importantes, tales como fatiga, esfuerzo, monotonía y moral, deben considerarse como intangibles, al tomar la decisión final, debido a que no existen medios conocidos para medirlos, o a que los existentes resultan muy caros si se persiguen fines prácticos. Para complicar aún más las cosas, el diseñador debe hacer sus predicciones respecto al comportamiento, cuando las alternativas están en su etapa conceptual o, en el mejor de los casos, esbozadas en un papel; por lo que raramente tiene la oportunidad de observar en operación los métodos por él ideados, y así poder medir el tiempo y otros criterios. En síntesis, los tres siguientes factores: la dificultad inherente de predecir el comportamiento humano, el número tan grande de criterios intangibles que entran en juego, y la necesidad de hacer estimaciones mientras el método se encuentra aún en una fase conceptual, hacen que el proceso completo de evaluación, sea impreciso por naturaleza.

Probablemente el tiempo de producción sea la característica del comportamiento que más satisfactoriamente puede medirse en forma cuantitativa, y aun esto, deja mucho que desear.

A continuación se describirán detalladamente los medios que el diseñador tiene a su alcance, para predecir cuantitativamente el tiempo de ejecución.

Predicción del tiempo de ejecución manual

El tiempo esperado de ejecución, al igual que cualquier otro criterio que se use como auxiliar en la selección del diseño final, ordinariamente debe estimarse cuando los métodos posibles están en su etapa de planeación, por lo que, en última instancia, el problema consiste en la predicción del comportamiento que puede esperarse de cada uno de los métodos ideados.

Si la rapidez de ejecución de una operación depende de la máquina o el proceso, el tiempo de ejecución puede predecirse con un grado relativamente alto de exactitud y precisión; cosa que no puede decirse, por las razones anteriormente mencionadas, si la rapidez de ejecución depende del operador. A continuación se mencionan varios métodos modernos, para la predicción del tiempo de ejecución manual.

1. Por simple discernimiento, estime el tiempo necesario, tomando como base la experiencia, la comparación con casos similares, y el sentido común, haciéndose observar que el error esperado asociado con este procedimiento es muy grande, aunque el costo de hacer la evaluación sea realmente bajo. Existen cuando menos dos situaciones en las que es apropiado este tipo de evaluación, siendo la primera aquélla en que las consecuencias de una decisión errónea no son costosas; por ejemplo, una operación para la cual el costo anual total de la mano de obra

bajo. La segunda, es el caso en que una alternativa es obviamente inferior o Superior, y puede ser aislada satisfactoriamente basándose en el sentido común.

9 Simular la operación en cuestión, y medir el tiempo de ejecución. Frecuente- ,ríente el diseñador mismo puede realizar los movimientos, y medir el tiempo a medida que pone en práctica varios métodos posibles. No obstante que este procedimiento es relativamente imperfecto, es de bajo costo y generalmente superior, con respecto al error involucrado al perfeccionarse únicamente en el discernimiento.

3. Usar el prototipo o modelo de la distribución y del equipo, y medir el tiempo ¿e ejecución real del (los) método(s); sin embargo, este procedimiento tiene varias limitaciones o inconveniencias, a saber: primera, existe un costo obvio de la preparación del prototipo, lo que limita drásticamente la utilización de este tipo de evaluación, a las operaciones con un gran volumen de producción que impliquen modelos de bajo costo (materiales, herramientas, y demás equipo necesario para reproducir el método en cuestión); segunda, existe un costo relacionado con la medición del tiempo; tercera, casi por necesidad, la persona que realiza cada método carece de la habilidad necesaria, lo que aumenta el error esperado en este tipo de evaluación. A pesar de lo anterior, la confiabilidad ofrecida por este procedimiento, es superior a la de los dos primeros, mencionados anteriormente.

4. Usar tiempos de movimientos predeterminados para sintetizar las estimaciones hechas, puesto que las diferentes operaciones manuales consisten en diferentes combinaciones y permutaciones de un número limitado de movimientos de los miembros del cuerpo, tales como mover la mano hacia un objeto, tomarlo, soltarlo, etc., y debido a que cada una de estas pequeñas subdivisiones son comunes a un gran número de operaciones manuales, es posible, técnica y económicamente, obtener un tiempo esperado de ejecución para cada una de ellas. Por medio de estas subdivisiones básicas, conocidas simplemente como movimientos, y sus tiempos de ejecución asociados, es posible llegar a:

a. Establecer los diversos movimientos requeridos por un método dado;
b. Consultar las tablas de los valores de tiempos, para obtener el tiempo esperado de ejecución de cada uno de estos movimientos;
c. Sumar estos tiempos para obtener un tiempo total esperado de ejecución de ese método.

Como muestra de la aplicación de esta técnica, en la tabla 5 se ilustra una secuencia de movimientos simples.

El error involucrado en la evaluación, usando este último procedimiento, de ordinario es menor que el asociado con los dos primeros métodos y en apariencia se compara favorablemente con el tercero. Además, el costo en el que se incurre con el método de tiempos previamente determinados, es considerablemente menor que el incurrido con el método en el que'se usa un prototipo de la operación, ya que los costos asociados con este último, ordinariamente lo hacen prohibitivo. Por estas razones el procedimiento que usa tiempos previamente determinados es un medio de medición cuantitativa muy útil en el diseño de métodos; por lo que creemos conveniente analizar, con detalle, este método.

TABLA 5

Síntesis del tiempo esperado de operación para el movimiento de apretar una tuerca con una llave

Movimiento	Descripción	Tiempos predeterminados obtenidos en tab'as
Extender la mano 10 plgs.	Hacia la llave	0.42 segundos
Sujetar	La llave	0.10 segundos
Mover 18 plgs.	La llave hacia la tuerca	0.74 segundos
Colocar	L? llave en la tuerca	0.71 segundos
Mover 6 plgs.	La llave sobre la tuerca	0.06 segundos
Aplicar presión	Para apretar	0.32 segundos
Mover la mano 10 plgs.	Apretar	0.58 segundos
Mover 1 plg.	Alejar la llave	0.44 segundos
Soltar	La llave	0.06 segundos
		3.43 segundos

Técnica de los tiempos de movimientos previamente determinados. Un tiempo previamente determinado, es el tiempo esperado de ejecución para una subdivisión básica al acometer una actividad manual, obtenido promediando los tiempos empleados por muchas personas al realizar el movimiento dado. Un sistema de tiempos previamente determinados es un conjunto de éstos, a partir del cual, es posible sintetizar los tiempos de ejecución para una gran variedad de operaciones manuales. Desafortunadamente, no existe un sistema de tiempos previamente determinados que sea común y aceptado por todas las compañías que necesitan de esta técnica; por el contrario, se usa cuando menos una docena de sistemas diferentes, algunos de los cuales fueron desarrollados por grandes corporaciones pata su uso exclusivo, y otros, por particulares, para ser usados en sus propios negocios de consultaría. Todos estos sistemas difieren tanto en su estructura, como en los resultados obtenidos; además, todos ellos serían inferiores a algún sistema que pudiera encontrarse, y para cuyo desarrollo se pudieran aplicar cantidades suficientes de tiempo, dinero y habilidad.

En el apéndice A, se describe uno de los sistemas de tiempos previamente determinados, del cual se dispone actualmente; esta técnica se discute y evalúa posteriormente al tratar el tema de medición del trabajo.

Predicción de la fatiga

Al evaluar los métodos de trabajo posibles, es conveniente que se prediga y compare cuantitativamente la fatiga generada por cada uno de ellos; sin embargo, hasta ahora es imposible predecirla y aun medirla, pues los expertas en la materia, psicólogos y fisiólogos, no han podido definir

satisfactoriamente este fenómeno, menos aún medirlo. Parte de esta dificultad se debe a que el término fatiga se usa común y vagamente, para describir cuando menos cuatro efectos acumulativos, reversibles del trabajo; siendo ellos:

1. Disminución de la capacidad para ejecutar el trabajo en cuestión, en lo que respecta a rapidez y calidad.
2. Disminución de la capacidad para ejecutar el trabajo en cuestión, así como para otras tareas.
3. Una serie de cambios fisiológicos; por ejemplo, cambios en la química sanguínea, el sistema nervioso, y las secreciones glandulares que tanto afectan el funcionamiento del organismo.
4. Una sensación de cansancio, un estado del organismo que se siente o percibe. Este es el significado más comúnmente asociado con la palabra fatiga, tal como se usa en la conversación cotidiana. Esta sensación de cansancio no se correlaciona con las realidades físicas mencionadas en los puntos 1, 2 y 3; una persona puede sentirse muy fatigada, aun cuando no se afecten su capacidad actual de ejecución y el estado físico en que se encuentre, y viceversa.

Por consiguiente, parte de la dificultad encontrada al tratar con la fatiga, consiste en intentar medir, simultáneamente, un conjunto de efectos del trabajo, acumulativos y a lo sumo ligeramente correlacionados; por tanto, la única forma posible de definir y medir la fatiga consiste en tratar separadamente varios o todos los efectos mencionados, siendo evidente que carece de sentido pretender establecer una medida única para tal efecto.

Es muy difícil medir cada uno de los efectos mencionados, ya que la capacidad para ejecutarlos varía en una forma difícil de cuantificar, debido a que simultáneamente ocurren cambios en el esfuerzo a medida que pasa el tiempo. Algunos de los cambios fisiológicos sí pueden medirse, per ejemplo, los ocurridos en la química sanguínea; pero este tipo de medición carece de aplicación práctica, debido al personal y equipo especializado que requiere.

A pesar de que algunos autores afirman la existencia de métodos para medir la fatiga, conviene recalcar que ninguno de ellos ha demostrado ser satisfactorio. Un método que supuestamente mide la fatiga, es el conocido como método de disminución de la velocidad de producción; en él, la cantidad de fatiga generada por una operación determinada se mide por la reducción de la velocidad y trabajo que experimenta un operador, después de trabajar durante un período prolongado, un día, por ejemplo. Según este método, se supone injustificadamente que el trabajador varía su tasa real de producción, de acuerdo con los cambios en su capacidad de tasa de trabajo, debido a los cambios fisiológicos que se efectúan en su organismo, y a la sensación de cansancio. Generalmente, el trabajador no se da cuenta de los dos primeros cambios, y además estos cuatro fenómenos

están sólo moderadamente correlacionados, de tal suerte que la tasa de producción no puede variar conjuntamente con los otros tres. En otras palabras, la solución principal en que se basa este método, es que durante el período que se está midiendo, el trabajador no altere significativamente su nivel de esfuerzo, ni permita, de hecho, que muchos otros factores posibles, además de la fatiga, afecten su tasa de producción a lo largo del día. Esta suposición será refutada en el capítulo 15, al tratar de las tolerancias por fatiga en los estudios de tiempos, bastando por ahora establecer que este método para "medir" la fatiga es virtualmente inútil para fines prácticos.

Debido al hecho de que la fatiga no se manifiesta claramente en la tasa de producción del trabajador y al deseo de evadir el difícil problema, se arguye que la fatiga ha dejado de ser un problema en las tareas industriales comunes, y que, por consiguiente, puede ignorarse.

Aun cuando se llegaran a desarrollar métodos satisfactorios para medir la fatiga, ésta no podría predecirse para una operación que esté todavía en su fase conceptual, siendo altamente probable que sería necesario experimentar con un modelo piloto de la operación y efectuar las mediciones directamente sobre el individuo que realiza la operación en cuestión; pero este método no es factible, económicamente, para la gran mayoría de los trabajos de diseño de métodos, debiendo notarse que los efectos de la fatiga no pueden sintetizarse, como sucede con el tiempo de ejecución.

A falta de un método objetivo para predecir la fatiga de manera satisfactoria, o aun para medirla, el diseñador de métodos a menudo se basa en su discernimiento para estimarla cualitativamente, o lo que es peor en muchas ocasiones, ni siquiera emplea este criterio.

Predicción del esfuerzo

El esfuerzo, que también es difícil de definir y cuantificar satisfactoriamente, suele interpretarse entre los psicólogos y fisiólogos como una experiencia, una sensación que la persona experimenta con respecto a lo arduamente que está trabajando, o el grado en que percibe que intervienen sus facultades físicas.

Esta sensación depende de la velocidad real a la que la persona está trabajando, de su capacidad para realizar la tarea en cuestión, de la magnitud del trabajo físico involucrado, de la actitud de la persona hacia el trabajo, de las condiciones bajo las cuales se efectúa el trabajo (temperatura, humedad, nivel del ruido), de lo interesante que sea el trabajo, etc. Usando la actitud hacia el trabajo como un ejemplo, si dos tareas requieren la misma cantidad de trabajo físico, pero una de ellas le es grata al individuo (como lo es el jugar a la pelota a un niño) y la otra no lo es (como cortar el césped a un niño), entonces las dos situaciones despertarán en el individuo sensaciones diferentes con respecto a su ejecución. La medición del esfuerzo se complica no sólo por el gran número de

determinantes que entran en juego, sino también por el hecho de que bajo las mismas condiciones, el grado del esfuerzo difiere radicalmente entre las personas y a medida que el tiempo transcurre.

Otro punto de vista con respecto al esfuerzo, ampliamente propagado entre los que efectúan estudios de tiempos, sostiene que el término esfuerzo es sinónimo de la rapidez con que se realiza el trabajo, lo que constituye un uso erróneo e injustificado de dicho término.

Para fines de evaluación del esfuerzo, el diseñador de métodos deberá disponer de una expresión que le permita determinar el esfuerzo promedio requerido, con respecto al requerido por otros métodos y tareas. Esta reacción promedio deberá reflejar la cantidad de trabajo físico requerido por el método, la satisfacción e interés intrínseco asociados con él, las condiciones que lo rodean, y otras características. Desafortunadamente, el grado en que una persona siente que efectúa un trabajo, no puede medirse satisfactoriamente ni siquiera comunicarse a otra persona, por lo que a falta de una medición directa, a lo sumo puede esperarse una clasificación de los diferentes métodos, con respecto al esfuerzo requerido, por personas que los hayan ejecutado; sin embargo, debido a que el diseñador de métodos con frecuencia hace sus evaluaciones mientras los métodos están en su fase conceptual, no se tiene la oportunidad de ejecutarlos, para así poder determinar la magnitud del esfuerzo que requieren; por consiguiente, el diseñador usualmente tiene que estimar el esfuerzo requerido basándose exclusivamente en su propio criterio, lo que indudablemente es mejor que no utilizar ninguno.

Existen varios índices fisiológicos cuantitativos del nivel del esfuerzo ejercido, con los que se espera que éste pueda medirse indirectamente, y los investigadores han hecho experimentos con tales índices respecto al grado de tensión muscular, la resistencia de la piel a la corriente eléctrica, la presión sanguínea y el número de pulsaciones.[1] Las pulsaciones del trabajador, durante y después de un trabajo, se han considerado seriamente, debido en parte a la facilidad con que se miden bajo las condiciones reales de trabajo;[2] sin embargo, las pulsaciones, al igual que la mayoría de estos índices fisiológicos, son una función del esfuerzo ejercido así como también de una multitud de efectos acumulativos y no acumulativos del trabajo, tales como la pérdida de energía, fatiga, monotonía, y el estado emocional en que se encuentre la persona; sin embargo, no se conoce lo que se mide específicamente con las pulsaciones.

Predicción del consumo de energía

La rapidez con que un operador consume energía al realizar un trabajo, es un fenómeno puramente físico que no incluye ninguna de las

[1] Para una discusión completa de la mayoría de los índices del trabajo propuestos véase T. A. Ryan, *Work and Effort,* Ronald Press Company, Nueva York, 1947.

[2] Véase Dr. Lucien Brouha, "Physiological Evaluation of Human Effort in Industry", boletín N* 57-A-55, ASME.

características experimentales que hacen tan difícil cuantificar la fatiga, el esfuerzo, la monotonía y la satisfacción proporcionadas por un trabajo en particular, a pesar de que existen unidades ya conocidas para el consumo de energía, tales como calorías por minuto, libras pie por minuto, etc. Así mismo, en los textos respectivos se muestra una gran variedad de métodos para estimar esta rapidez. El método más directo ideado hasta ahora, implica la medición del bióxido de carbono producido por una persona al efectuar un trabajo, ya que el bióxido de carbono que se expele, durante y hasta un poco después del período de trabajo, es directamente proporcional a la cantidad de materia combustible que se oxida en el cuerpo, y por consiguiente, a la energía consumida para efectuar el trabajo en particular. En este procedimiento, el bióxido de carbono expelido por el trabajador mientras realizz el trabajo observado, se recibe en aparatos especiales,[3] y después por medio de factores estándar de conversión, y a partir del volumen de bióxido de carbono expelido, se determina el número de calorías consumidas. Es claro que este procedimiento requiere que las mediciones se efectúen sobre una o, preferentemente, varias personas, mientras realizan el trabajo; esto, y el costo relativamente alto del equipo necesario, hacen que este método no se use con frecuencia en el trabajo cotidiano de diseño de métodos. Una desventaja menos frecuente, es el hecho de que los aditamentos colocados al trabajador (una máscara sobre la nariz y la boca, o unas pinzas sobre la nariz y un tubo en la boca) pueden causar que éste no se desempeñe con naturalidad.

Se ha propuesto que la energía consumida se estime indirectamente midiendo el trabajo mecánico realmente realizado; éstos son dos conceptos completamente diferentes, ya que uno es el insumo, esto es, lo que el trabajador realmente transforma en energía medida por el método del bióxido de carbono; mientras que el segundo, es el trabajo útil que se realiza al consumirse la energía del trabajador. Por ejemplo, el trabajo que se realiza al levantar un peso de 50 libras en una distancia vertical de tres pies, se calcula de la siguiente manera: trabajo = peso x distancia, ó 3 pies X 50 libras = 150 pies-libras. Por otro lado, el operador consume 0.34 calorías en la ejecución de este trabajo (medidas por el método del bióxido de carbono); ahora bien, como una caloría equivale a 3,085 pies-libras, la relación entre lo que entra y lo que sale es:

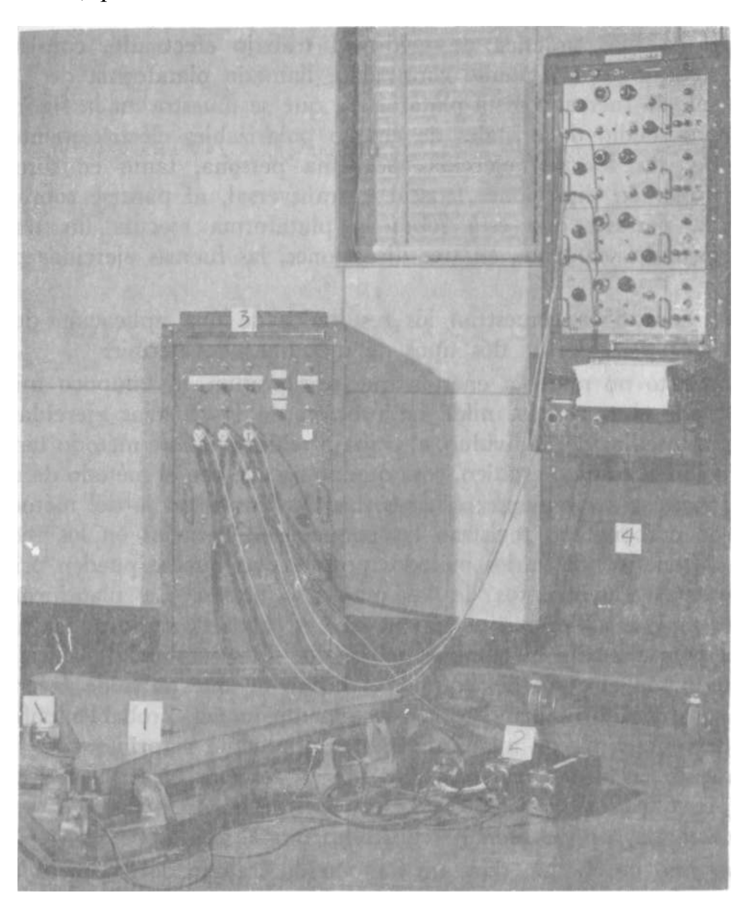
$$\frac{150 \text{ pies-libras}}{0.34 \text{ cal.} \times 3{,}085 \text{ pies-libras/cal.}} = 0.14$$

Por consiguiente, la energía que se consume, es considerablemente mayor que el trabajo útil que se obtiene.

[3] Para una descripción del equipo más práctico ideado hasta hoy, para medir el bióxido de carbono expelido, véase James H. Greene, W. H. M. Morris y J. E Wiebers, "A Method for Measuring Physiological Cost of Work", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 10, N* 3, mayo-junio, 1959.

El pretender calcular la energía consumida, a partir del trabajo realizado, empleando fórmulas estandarizadas, adolece, cuando menos, de los tres siguientes defectos:

1. Para estimar el consumo de energía a partir del trabajo realizado, se supone, sin fundamento alguno, que la relación entre ambos es relativamente constante, para los diferentes métodos evaluados.



Figuia 64. Cuando una persona ejecuta un trabajo mientras está sobre la plataforma triangular (1), los cristales de cuarzo sensibilizados miden en tres dimensiones las fuerzas por ella ejercidas (uno de los cristales se señala con una flecha pequeña). La magnitud de estas fuerzas se registra en una escala de tiempo por medio de un registrador de canal múltiple (4), como se ¡lustra en la figura 65. (Cortesía de E. I. DuPont de Nemours and Company.)

2. Es extremadamente difícil calcular el trabajo realizado para la mayoría de las tareas que implican muchos movimientos y manipulaciones; por ejemplo, la conversión de los movimientos de un trabajador mientras

opera su torno, a pies-libras de trabajo, sería una tarea muy laboriosa si no es que imposible.

3. En trabajos de tipo estático, por ejemplo, sostener un peso a determinada altura, o ejercer una fuerza sin realizar movimientos, puesto que la distancia recorrida es nula, la fórmula nos diría que el trabajo realizado es cero, cosa con la que no estaría de acuerdo la persona que está sosteniendo el peso.

Una forma más práctica de medir el trabajo efectuado, consiste en usar un aparato especialmente construido, llamado plataforma de Lauru. (Plataforma de fuerza.)[4] Esta plataforma, que se muestra en la figura 64, detecta, por medio de cristales de cuarzo polarizables eléctricamente por compresión, las fuerzas ejercidas por una persona, tanto en dirección vertical, como en direcciones frontal y transversal, al pararse sobre ella. Cuando la persona que está sobre la plataforma ejecuta un trabajo, se miden simultáneamente, en tres direcciones, las fuerzas ejercidas por el trabajador.

En la figura 65 se muestran los resultados de una aplicación de este equipo a la operación de dos tipos de máquinas de escribir.

Este aparato no mide la energía que se consume, ni tampoco mide el esfuerzo; por el contrario, mide en función de las fuerzas ejercidas por el sistema muscular del individuo, el trabajo realizado. Este método toma en consideración el trabajo estático, cosa que no sucede con el método de cálculo mencionado anteriormente; además, las técnicas como la del método de bióxido de carbono, no registran las pequeñas diferencias en los requerimientos de energía de varios métodos posibles, las que se pueden originar por diferentes movimientos de las manos y brazos. La plataforma de fuerzas es muy sensible, pues se supone que es capaz de registrar las fuerzas ejercidas por una rata al caminar sobre ella. Las mayores desventajas de este método son el costo del equipo, el hecho de que no mide la componente distancia sino únicamente la componente fuerza, probablemente esta última desventaja puede allanarse satisfactoriamente si primero se miden manualmente las distancias recorridas por los objetos al ser llevados, empujados, o volteados en el curso de ejecución de la tarea, y posteriormente se correlacionan con las fuerzas registradas por el aparato.

El consumo de energía para un método de trabajo determinado puede medirse en forma satisfactoria, ya sea directamente por medio del método bióxido de carbono, o indirectamente por el método de la plataforma de fuerzas; sin embargo, y a pesar de lo anterior, la mencionada energía por lo común la estima cuantitativamente el diseñador a base de su propio juicio, y en ocasiones, la ignora por completo. Esto se debe al costo de las mediciones y al hecho de que la evaluación debe hacerse generalmente cuando las alternativas están todavía en la fase conceptual. Desde luego,

[4] Lucien Lauru y Lucien Beouha, "Physiological Study of Motions", *Advanced Management,* vol. 22, N* 3, marzo, 1957.

Fuerzas necesarias para la operación de una máquina de escribir manual

Fuerza en kg

2 -
1 -

2 -

Vertical

0.75 -
2 seg.
0.375 -
O —
0.375 -
0.75-

Frontal

0.75
0.375
0 —
0.375
0.75

Transversal

Fuerzas necesarias para la operación de una máquina de escribir eléctrica

Fuerza en kg

2 -
1 -
O — >
1 -
2 -

Vertical

0.75 -
2 seg.
0.375 -
O -
0.375 -
0.75 -

Frontal

0.75 -
0.375 -
O— >
0.375 -
0.75 -

Transversal

Figura 65. Registros de las fuerzas ejercidas al operar una máquina de escribir manual y una eléctrica, tal y como se obtienen con la plataforma de fuerza de Lauru, mostrada en la figura 64. (Cortesía de E. I. DuPont de Nemours and Company.)

es mejor considerar cualitativamente este criterio, en vez de olvidarse por completo de él.

Predicción de la monotonía

La monotonía (tedio), se considera casi siempre como lo opuesto al interés; una aversión por la tarea que se acumula como resultado de la falta de variación y requerimiento mental de la actividad; el efecto de esta falta de interés es que para continuar con el trabajo se requiere un mayor esfuerzo. La experiencia ha demostrado que la monotonía es más severa en las tareas manuales que son altamente especializadas y repetitivas: por lo que esto deberá considerarse seriamente, al tomar decisiones concernientes a la especialización (división del trabajo).

Al igual que el esfuerzo y que un aspecto de fatiga, la monotonía es una experiencia y por consiguiente es difícil de predecir y cuantificar satisfactoriamente. A pesar de que para poder predecirla se hace necesario basarse en el discernimiento, la monotonía no es un criterio que pueda ignorarse al comparar los diferentes métodos de trabajo posibles.

Predicción de la satisfacción que proporciona un trabajo

No obstante que el método de trabajo no es la única determinante de la satisfacción que podrá experimentar el trabajador al realizarlo, sí es una de las más importantes, y un factor principalísimo, aunque difícil de predecir, de su productividad. Por consiguiente, en el método de trabajo debe considerarse cuando menos cualitativamente. Las gerencias intentan estimular continuamente a sus trabajadores para que aumenten su productividad, y la mejor forma de ello dentro del trabajo mismo, consiste en seleccionar un método que aumente la satisfacción proporcionada por el trabajo; recíprocamente, un método que deteriore esta satisfacción, es la mejor manera de disminuir la productividad.

Predicción del costo de aprendizaje

Con frecuencia existe una tendencia, de parte de los diseñadores, a olvidar (en ocasiones lo hacen deliberadamente) que los métodos posibles para ejecutar un trabajo, pueden requerir tiempos de aprendizaje significativamente diferentes; además, el período de aprendizaje y su costo asociado, son con frecuencia mayores de lo que pudiera esperarse para todas aquellas operaciones que no sean demasiado simples. De hecho, este costo de aprendizaje puede ser el contribuyente de mayor cuantía en el costo inicial de un método propuesto.

La figura 66 muestra la curva de aprendizaje para una operación de ensamble, y en este caso, el operador continúa mostrando mejoría hasta que llega a las 175 horas de práctica. El costo total de aprendizaje, esto es, el valor de la producción perdida durante el período de aprendizaje, como una consecuencia de producir a una velocidad menor que la normal, es de 80 dólares[5] aproximadamente.

Actualmente no existe un medio satisfactorio para predecir cuantitativamente el tiempo de aprendizaje; se espera, sin embargo, que en un

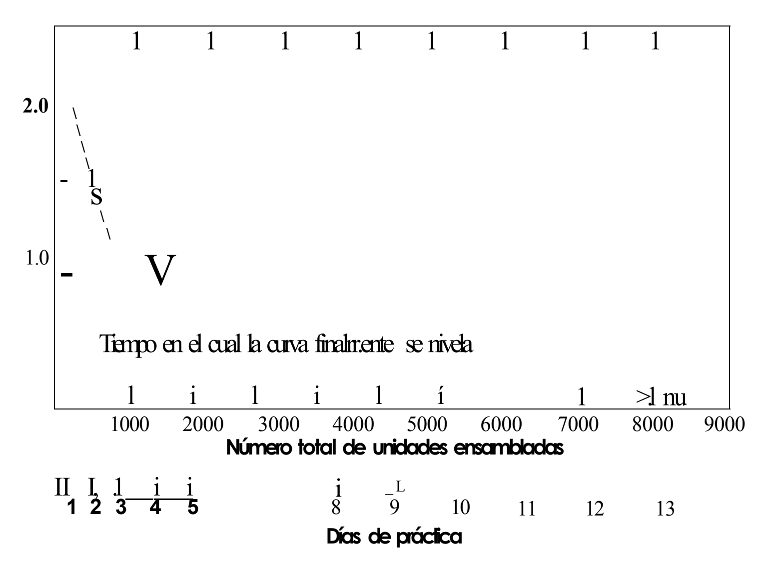


Figura 66. Curva de aprendizaje para una operación de ensamble. La forma general que tiene esta curva, es representativa de las curvas de aprendizaje que se encuentran comúnmente en operaciones manuales.

futuro cercano[6] se disponga de tal técnica. Mientras tanto, el diseñador de métodos debe depender de un buen juicio para predecir el tiempo de aprendizaje para los diferentes métodos.

Los criterios intangibles y su importancia

La fatiga, la monotonía, el esfuerzo y la satisfacción proporcionada por el trabajo, deben tratarse como criterios intangibles, al comparar los

[5] Este es el costo de aprendizaje para un operador, calculado con base en 50 horas de producción perdida, valuada a 1.55 dls./hr., que es el salario base del operador.

[6] Parece posible, con base en investigaciones no publicadas efectuadas por el "Department of Industrial and Engineering Adininistration", Sibley School of Mechanical Engineering, Universidad de Cornell, que el tiempo de aprendizaje pueda predecirse en ciertas características del trabajo mismo, y usándose un sistema de tiempos de movimientos determinados para medir estas características.

diferentes métodos de trabajo posibles, debido a que todos tienen aspectos que dependen de la experiencia. Aun cuando pudieran medirse, existe el obstáculo adicional de que en muy raras ocasiones es posible trabajar con modelos pilotos en los que pudieran efectuarse las mediciones. Los medios actuales para predecir el tiempo de aprendizaje son muy burdos; sin embargo, existe una posibilidad de que se desarrollen métodos más objetivos. La rapidez a la que se consume energia, se trata ordinariamente como un intangible, no por que sea imposible medirla, sino porque esto resultó impráctico.

Se ha hecho notoria la poca importancia que en la práctica se le da a todos los criterios intangibles anteriormente citados, pues el diseñador casi siempre se preocupa más de los intereses de la gerencia, concentrando su atención principalmente en factores tales como tiempo de ejecución, tasa de producción, etc. Sin embargo, es un hecho indiscutible que la fatiga, el esfuerzo y la monotonía, afectan a la producción, cuando ésta se efectúa a largo plazo. En un trabajo en el que la fatiga, el esfuerzo, la monotonía, y el consumo de energía sean mayores, o que produzca una satisfacción menor, a largo plazo la productividad será menor y el ***costo total*** será mayor, debido a la probabilidad de que aumenten los retrasos evitables de la producción, los cambios y transferencias de los empleados, los costos de supervisión, el ausentismo, las actividades indiferentes, apáticas y aun antagónicas de los empleados, etc.

Así, por ejemplo, un método *A,* puede requerir menos tiempo que uno D cuando los tiempos de ejecución se basan en mediciones a corto plazo, pero como el método *A* produce una fatiga mayor, es posible que a largo plazo no sea ya el mejor. En general, los diseñadores de métodos cometen el error de poner mucho énfasis en el tiempo de ejecución como un criterio a corto plazo, a expensas de los criterios intangibles. Aun cuando estos últimos no pueden expresarse cuantitativamente, pueden y deben considerarse cualitativamente al evaluar los métodos de trabajo posibles, y por muy poco satisfactorio que esto pueda parecer, es ciertamente preferible a olvidarse completamente de ellos.

La ganancia en la inversión, como una función de la cantidad invertida en mejoras

Gomo una ilustración, consideremos el caso siguiente en el que se proponen varios procedimientos posibles ¡Jara mejorar el método en una operación de balanceo de precisión. En la tabla 6 se clan para los cuatro métodos, la inversión esperada, el tiempo de balanceo, los ahorros netos en los costos de operación, y la ganancia en la inversión (rentabilidad).

Una situación común, en el trabajo de diseños de métodos, consiste en emplear procedimientos gráficos, como se indica en la figura 67a, en la que los ahorros en los costos de operación para cada alternativa, se han trazado sobre un eje vertical y la inversión requerida, sobre uno horizontal y como

esta gráfica lo indica, los ahorros no siempre varían en forma directa con el incremento en la inversión que requiere el método.

Por el contrario, a medida que se recurre a métodos con costo inicial mayor, el incremento en los ahorros obtenidos tiende a disminuir, hasta que se llega a un punto en que virtualmente nada se logra con aumentar la inversión inicial. Por consiguiente, cuando se invierte en alternativas más

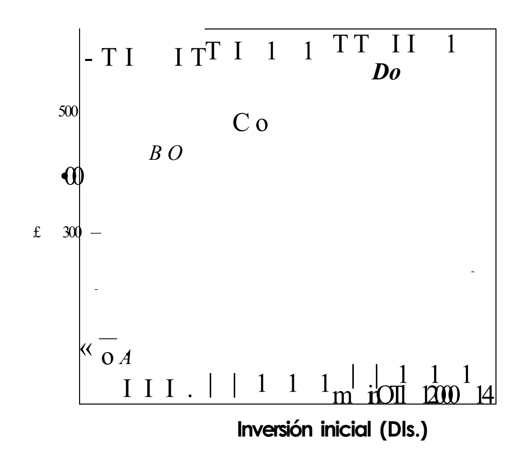


Figura 67a. La relación entre los ahorros obtenidos y el costo.Inicial para los cuatro métodos de balanceo.

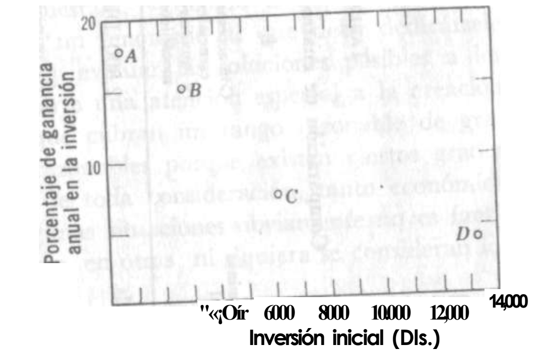


Figura 67b. La relación entre la ganancia en la inversión (rentabilidad), y el costo inicial para los cuatro métodos de balanceo.

costosas, existe un punto en el cual es más productivo dirigir cualquier fondo adicional hacia otros problemas y sus soluciones. Lo anterior se indica en la figura 67b, en donde la ganancia en la inversión (rentabilidad) para cada método se ha representado gráficamente, en términos de la inversión respectiva. A medida que se aumenta la inversión, y la rentabilidad en la inversión disminuye, deberá tenerse cuidado de no invertir más allá del punto en el que la rentabilidad es menor que la obtenida en otras oportunidades que la compañía tenga para invertir. Seguramente, la compañía puede encontrar oportunidades que ofrezcan una rentabilidad mayor de 4%, o mayor que el 7.7% que se obtiene con la máquina semiautomática.

TABLA 6

Comparación de cuatro métodos de balanceo

	A Con predominio manual	B Con accesorios esenciales y auxiliares mecánicos	C Máquina semiautomática	D Máquina automática
Inversión inicial	450 Dls.	2,800 Dls.	6,100 Dls.	13,500 Dls.
Tiempo de balanceo	0.73 minutos	0.18 minutos	0.14 minutos	0.11 minutos
Ahorros netos en costos de operación por año	80 Dls.	420 Dls.	470 Dls.	540 Dls.
Rentabilidad anual de la inversión	$\frac{\$80}{\$450} \times 100 = 17.8\%$	$\frac{\$420}{\$2,800} \times 100 = 15\%$	$\frac{\$470}{\$6,100} \times 100 = 7.7\%$	$\frac{\$540}{\$13,500} \times 100 = 4.0\%$

Conviene mencionar los diversos niveles de mecanización incluidos en la figura 42, página 144, para lo cual consideraremos el caso de una operación que hasta este momento ha sido predominantemente manual y que se encuentra en el proceso de ser rediseñada. Bajo tales circunstancias, es común encontrar que la mayor rentabilidad puede obtenerse como resultado de mejoras, relativamente simples y de bajo costo, tanto en la distribución del lugar de trabajo, como en el procedimiento empleado en éste, y como resultado de introducir auxiliares mecánicos simples, tales como mecanismos de sostén.

Estos cambios, especialmente en la distribución del lugar del trabajo y en el procedimiento, usualmente ofrecen los mayores beneficios a cambio del dinero invertido en ellos. La adición de herramientas mecánicas, puede muy bien traer como consecuencia ahorros valiosos y substanciales, pero con los cuales no se obtiene la misma alta rentabilidad que ofrecen los cambios más simples. El uso de grados de mecanización progresivamente más elaborados y costosos, puede dar como resultado que se obtengan ahorros mayores, pero que no son de ningún modo proporcionales a la inversión hecha, de tal manera que se alcanza un punto, en el que un aumento en el grado de mecanización no es provechoso desde el punto de vista de la rentabilidad; puede ser que el mencionado grado de mecanización en este punto se considere el óptimo para el volumen de producción esperado del problema en cuestión, y debido a que este tipo de situaciones es muy común, este es un fenómeno al que debe dedicársele una consideración especial al dar y evaluar las soluciones posibles a los problemas de métodos. Debe prestarse una atención especial a la creación de una variedad de alternativas que cubran un rango razonable de grados de mecanización, y decimos razonables porque existen ciertos grados de mecanización que están fuera de toda consideración, tanto económica como técnica; por ejemplo, en algunas situaciones obviamente no es factible tener una mecanización completa, en otras ni siquiera se consideran los métodos predominantes manuales.

Errores y omisiones comunes

1. Pretender ahorros que realmente no existen; por ejemplo, debido a que los costos generales se cargan al producto con base en el tiempo de producción requerido, es fácil caer en la tentación de concluir, que si una alternativa reduce el tiempo de producción, los costos generales, como una consecuencia, se reducen proporcionalmente; cuando en realidad lo cierto es que en la mayoría de los casos, los costos generales de la planta casi no resultan afectados. Otro ejemplo es aquél en que un método particular reduce la mano de obra o el espacio necesarios, pero en el que tales "ahorros" no pueden usarse con algún otro propósito; de tal manera que bajo tales circunstancias, no hay reducción en el costo.

2. Ignorar los beneficios marginales que la compañía debe pagar por cada peso que pague de mano de obra. La cantidad de tales beneficios varía de compañía a compañía, pero varía alrededor del 20 por ciento de los ingresos directos.

3. Comparar estimaciones del tiempo de producción, que representan diferentes fases de trabajo; por ejemplo, los registros de producción con frecuencia proporcionan estimaciones del tiempo de ejecución requerido por el método actual; posteriormente, este tiempo se compara con los tiempos de varias alternativas, los cuales se predicen con uno o varios de los métodos descritos anteriormente; tiempos de movimientos predeterminados, por ejemplo. Estos tiempos pueden muy bien representar velocidades de trabajo, 20 ó 30 por ciento mayores o menores que la velocidad de trabajo del método actual; de tal suerte, que bajo tales circunstancias puede llegarse a una conclusión errónea.

4. Ignorar, o subestimar los criterios intangibles, tales corno fatiga, esfuerzo, monotonía y la satisfacción que produzca el trabajo. Esto incluye también lo que pudiera llamarse los costos ocultos resultado de un cambio, los efectos explosivos, la adaptación, la resistencia, etc., que se originan por cambios en la trayectoria de trabajo y en los hábitos. Desde luego que un criterio que fácilmente se ignora o subestima, es la adaptación de parte del trabajador, del método propuesto; si la persona que deberá ejecutar el nuevo procedimiento lo resiste o resiente, entonces, el costo de operación pudiera muy bien inflarse, aun hasta un punto en que fuera prohibitivo. Esta aceptación de parte del trabajador es algo muy difícil de predecir; sin embargo, es probable que se pueda anticipar, con mayor frecuencia que la que se supone, y por consiguiente, es algo en lo que se debe pensar de antemano.

Resumen de la fase de evaluación

Es muy difícil hacer generalizaciones con respecto al procedimiento de evaluación, ya que éste varía considerablemente, de acuerdo con cada situación particular; pero el discernimiento desempeña obviamente un papel importante en esta fase; pues, de hecho, en ocasiones será el único método de evaluación disponible, debido a que los costos involucrados no permiten algo más elaborado. No se deben considerar únicamente aquellos criterios que puedan determinarse cuantitativamente; por el contrario, los criterios intangibles deben considerarse también, para que los costos de operación de los métodos que se comparan reflejen el costo de la mano de obra a largo plazo.

Nótese, por ejemplo, que en el caso del tiempo de ejecución, algunos métodos de predicción son rápidos y baratos, pero algo inciertos, mientras que otros son más confiables, pero a la vez más costosos. Existe una situación similar, independientemente de la característica que se evalúe; y en general, el método de evaluación apropiado para una situación espe-

'fica, es aquel procedimiento para el cual el costo de efectuar la evaluación es proporcional a la importancia de la decisión que se deba tomar.

Al concluir la fase de evaluación, todas las alternativas que se concibieron se habrán reducido a un solo método, el cual todavía tiene que gspec- icarse.

ESPECIFICACIONES DEL METODO SELECCIONADO

A continuación se mencionan varios de los objetivos que se consiguen por medio de este proceso de especificación:

1. Comunicar el método propuesto, a aquellas personas que son responsables de su aprobación.
2. Comunicar el método propuesto, a aquellas personas relacionadas con su utilización, con el objeto de lograr los siguientes propósitos:

a. montar la operación en lo que concierne al equipo y la ditsribución.
b. instruir a los operadores.

3. Obtener un registro oficial del método que se especifica.

Se recomienda usar, para la especificación del método, un documento oficial llamado *La descripción estándar del método,* como el que se ilustra en la figura 71, página 234. Por medio de este documento, o cualquier otro que so use, deberá lograrse lo siguiente:

1. Comunicar efectivamente el procedimiento, distribución, y equipo que deberán usarse.
2. Indicar las características de ejecución, que serán de importancia para mejorar el método que se especifica, y para la programación y control de manufactura subsecuentes. (Por ejemplo, las personas cuya responsabilidad es la de aprobar el método propuesto, estarán interesadas en saber el tiempo de ejecución, los costos de instalación y de operación, etc. Los encargados de la planeación, quienes programan las operaciones y planean las necesidades de mano de obra y de equipo, estarán interesados en el tiempo de ejecución, de la misma manera que lo están los supervisores instructores, contadores de costos calculistas, etc.).

Para obtener una comunicpción efectiva del procedimiento de trabajo, la descripción estándar del método puede complementarse con una carta de mano izquierda-mano derecha, la que facilitará la comprensión e instrucción; desde luego, ocasionalmente se pueden usar otras de las técnicas descriptivas mencionadas antes. Ultimamente ha surgido un marcado interés para usar, como auxiliares en la especificación y descripción, fotografías, transparencias, películas y cintas grabadas.

Al terminarse los proyectos más importantes, las especificaciones estarán probablemente en la forma de un informe oficial; cabiendo añadir que la preparación satisfactoria de informes que estén efectivamente organizados e ilustrados, completos, pero breves, y de argumentos convincentes, es algo a lo que se le debe dedicar una atención especial.

El diseño de métodos no difiere de otras especialidades de la ingeniería: en lo que se refiere a que la predicción del comportamiento de las facultades creativas del diseñador, es algo imperfecto.

Ordinariamente, a medida que él revisa las mejoras, y continúa observando el método en sus comienzos, el diseñador de métodos habrá de encontrar que es conveniente hacer modificaciones menores al equipo, distribución y procedimiento. Estos cambios se hacen necesarios como resultado de descuidos, por juicios equivocados o por tratar de que el método se ajuste a un operador en particular, etc. Por lo anterior, se hace inevitable un análisis posterior al mejoramiento de métodos, pues puede ser que después de que la operación está instalada y trabajando, surja la necesidad de revisar las especificaciones originales de las características de ejecución del método, tales como el tiempo estándar de ejecución, que el diseñador había establecido originalmente para el método. Algunas de estas revisiones se deben a lo erróneo de las estimaciones originales; muchas otras, sin embargo, se deben a cambios que tuvieron lugar después que las especificaciones originales fueron establecidas; pero todas estas modificaciones son parte inherente de la responsabilidad que el diseñador de métodos tiene, de vigilar el comportamiento del método, aun mucho después de implantarlo.

RESUMEN DEL PROCESO DE DISEÑO DE METODOS

Los siguientes son los puntos principales del enfoque que se debe dar a un problema de diseño de métodos, y que se recomiendan en este capítulo.

1. Dedicar inicialmente algún tiempo a la definición del *problema,* de una manera breve y sin entrar en detalles; evítese iniciar el ataque a un problema tratando de pensar indebidamente en las mejoras que pueden hacerse a la solución presente. Simultáneamente, evítese empezar con una descripción detallada del método presente.

2. En seguida, enfocar la atención hacia el análisis del problema; descúbranse y analícense las restricciones, de tal manera que hasta donde sea posible, sean únicamente las restricciones reales, las válidas, las que se tomen en consideración. Durante este paso, debe intentarse determinar todo lo que es posible alterar.

3. Búsquense tantas y tan variadas alternativas como sean posibles, usando el volumen y los criterios escogidos, como base para dirigir esta búsqueda. Con el objeto de maximizar la efectividad de esta fase, úsense

los medios generales para aumentar la inventiva, así como el conjunto ¿e los principios que se refieren a los mejores métodos de trabajo.

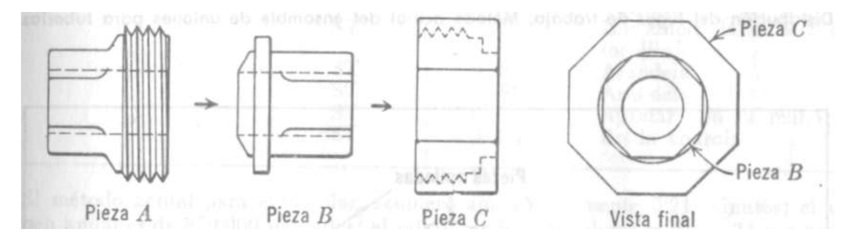
4. En general, la evaluación debe hacerse después, y no durante la búsqueda de las alternativas. Cuando sea posible, los tiempos requeridos para los varios métodos posibles y porciones de ellos, deben sintetizarse a partir de tiempos previamente determinados. No deben subestimarse los criterios intangibles; el costo total de la mano de obra debe basarse en la productividad a largo plazo.

5. Especificar adecuadamente el método que se seleccione, así como sus características de ejecución, por medio de la descripción estándar del método, complementada con otros medios de comunicación, principalmente aquéllos que puedan usarse como auxiliares de la instrucción.

6. Vigilar el equipo y el uso del método, para así completar el ciclo de diseño que se describió en el capítulo 6.

EJERCICIOS

1. Un fabricante de artículos para plomería, ha empleado a un consultor de ingeniería de métodos para que mejore los métodos de trabajo usados en toda la planta. Una operación que llamó la atención del consultor, es la ineficiente manera como se ensamblan las uniones para tubería. Estas uniones son uniones



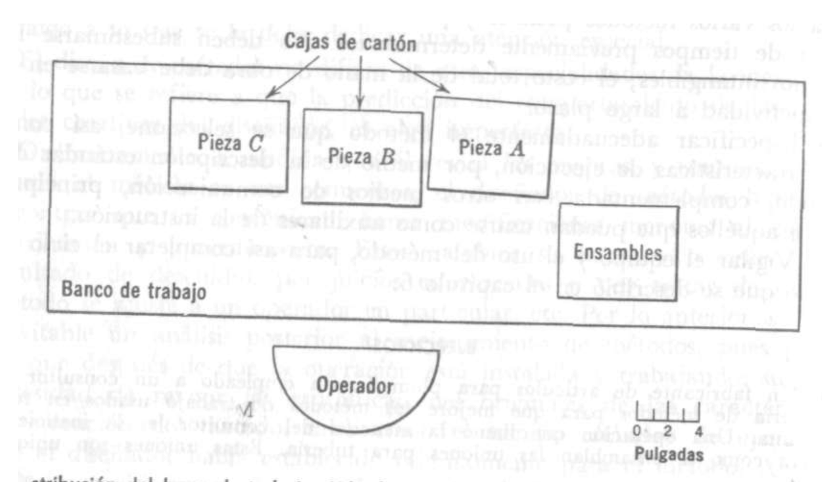
rectificadas estándar, cuya forma se indica en el dibujo 1.—pieza A; 2.—pieza B; 3.—pieza C; y 4.—vista del extremo que incluye pieza 15 y C. Las piezas componentes se llevan en cajas de cartón al banco de trabajo. El operador coloca sobre el banco un cartón de cada una de las piezas componentes, de donde las toma conforme las necesita, tal y como se ilustra en la carta de mano izquierda-mano derecha que también se incluye.

Carta de mano ¡zquierda-mano derecha para el ensamble de uniones para tubería

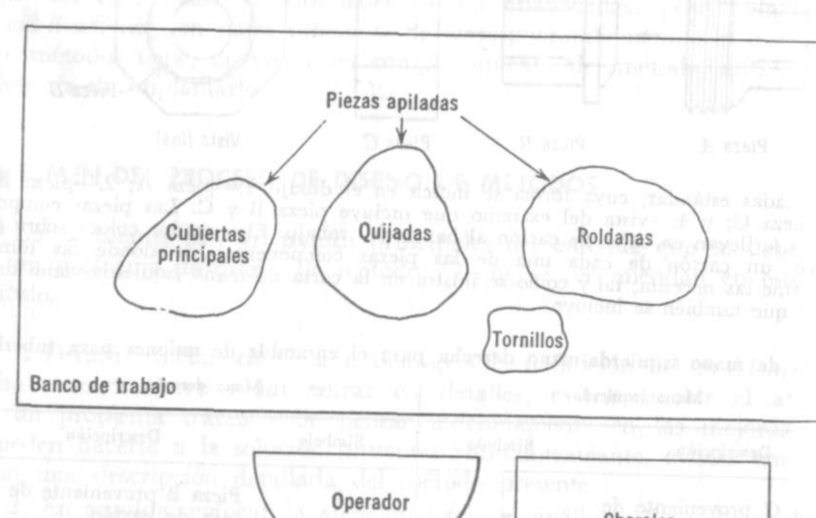
Mano izquierda		Mano dcrccha	
Descripción	Símbolo	Símbolo	Descripción
Pieza G proveniente de la caja de cartón	**S**	**S**	**Pieza B proveniente de la caja de cartón**
	ST	**SO**	**Pieza B dentro de la pieza G**
	ST	**S**	**Pieza A proveniente de la caja**
	ST	**SO**	**Pieza A en ensamble**
	ST	**E**	**Pieza A en ensamble**
	ST	**SO**	**El ensamble dentro de la caja**

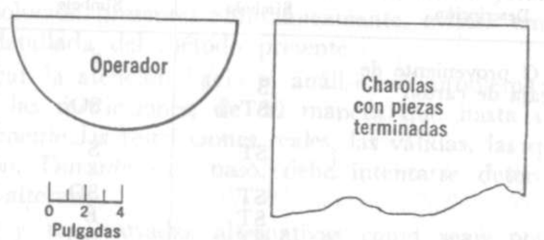
I a L . L r r : S » CO,OCan ^ntro del misra tipo de cajas d= cartón en que vienen PleZ3S, y 56 1,evan Periódicamente a la operación de empaque, en donde * empacan en cartones de doce cajas cada uno

La distribución usual del banco de ensamble se muestra en el plano que se incluye



U„„uul·lu„ uel lugar ae Trabajo. Método actual del ensamble de uniones para tuberías.





Distribución del lugar de trabajo. Método actual para ensamblar conexiones BX.

Los operadores trabajan de pie; el salario es de $1.62 por hora; el volumen anual de los once tamaños de uniones que se producen es de 775,000 unidades; el diseño de la pieza no varía; la velocidad de producción actual es de 500 unidades por hora y por operario.

¿Qué especificaría usted para esta operación, si usted fuera el consultor? *(NOTA:* Se desea que el método que se especifique se adapte fácilmente para todos los tamaños de uniones que se producen.)

2. Un fabricante de artículos produce conexiones BX, que son mecanismos usados en el alambrado de instalaciones caseras, para sujetar los cables BX en las cajas de salida y de distribución. La conexión es un artículo estándar que se puede obtener en cualquier ferretería o casa de artículos eléctricos. El método presente para ensamblar estas conexiones se indica en el plano, y en la carta de mano izquierda-mano derecha que se incluyen aquí.

Carta de mano izquierda-mano derecha para ensambles de conexiones BX

Mano izquierda		Mano derecha	
Descripción	Símbolo	Símbolo	Descripción
Colocar las cubiertas	S	S	Mandíbula
Ensamblar	ST	SO	'fandíbula dentro de la cubierta
	ST	S	Tornillo
	ST	SO	Tornillo
	ST	E	Introducir la mitad del tornillo
	ST	S	Arandela
	ST	SO	Arandela
	ST	E	Apretar con la mano
	ST	SO	En la charola

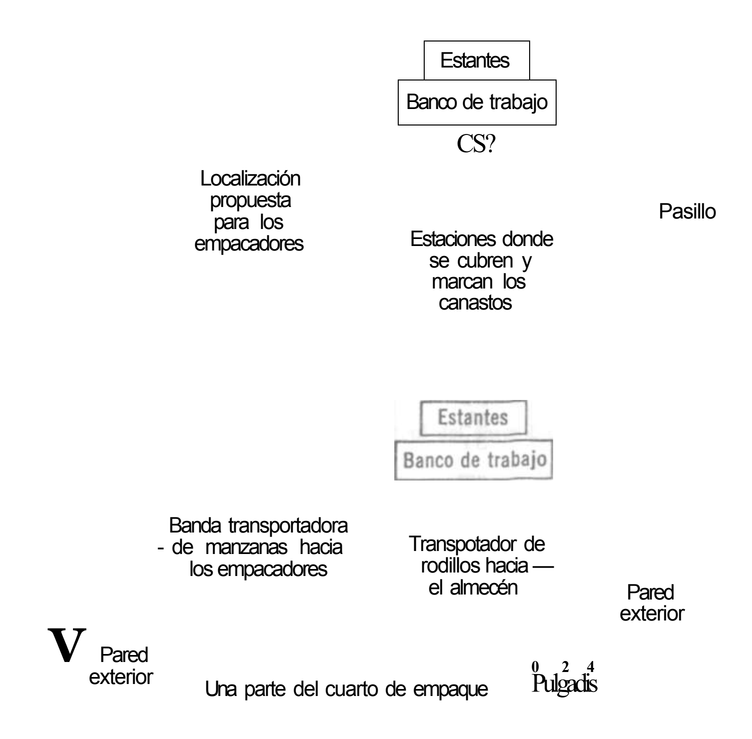
El método actual para ensamblar, requiere aproximadamente 0.21 minutos; el volumen anual es de 850,000 unidades; el salario de los operadores es de $1.24 por hora; <¶ operador recibe las piezas en charolas de 24 plgs X 14 plgs X 8 plgs; el diseño del producto no varía.

Especifique un método mejor para efectuar esta operación, respalde su proposición con los datos de costos adecuados, y cite algunas de las soluciones que usted considere posibles.

3. Un fabricante de máquinas de afeitar eléctricas, está en el proceso de diseñar los métodos de producción para un nuevo diseño del producto. Los planes generales de producción, requieren que la cabcza de corte se subensamble en una operación separada. Se esperan producir alrededor de 700 unidades por día, durante 'os dos años de vida de este diseño. El salario de los operadores es de $1.52 por hora. El operador recibe las piezas en charolas de 22" X 12" X 6" y se espera Que el transporte los subensambles, hacia la operación de ensamble final, en charolas de madera de 18 plgs X 18 plgs, cada una de las cuales lleve 180 cabezas de corte. Usted debe diseñar la forma de ensamblar estos subensambles. (El instructor dará una muestra del subensamble, o en su defecto, las especificaciones.)

4 En una gran casa empacadora de frutas, se empacan a mano, dentro de canastos, manzanas preparadas. Las manzanas llegan a los empacadores por medio de una banda transportadora; y se disponen en filas dentro de los canastos, en los guales cada capa está separada por una tira gruesa de papel. Actualmente, los trabajadores emplean una discutible cantidad de tiempo, debido a que las manzanas en cada capa no se quedan en su lugar, a menos que se sostengan con una mano, "^'entras esa capa se completa. Después, el canasto una vez lleno, se cubre y se "larca en otra estación de trabajo. El volumen diario esperado es de 1,100 canastos,

a lo largo de un período de 3 meses; los empacadores ganan $1.95 por hora. La localización de la banda transportadora, y de las estaciones de trabajo en donde se cubren y marcan los canastos, es fija y se muestra en la figura que se incluye. Especifique los detalles relacionados con lo que debe suceder entre la banda transportadora, y las estaciones donde se cubren y marcan los canastos.



REFERENCIAS

Brouha, Lucien, "Physiological Evaluation of Human Effort in Industry", publicación N' 57-A-55, ASME.

Brouha, Lucien y Lucien, Lauru, "Physiological Study oí Motions", *Advanced Management,* vol. 22, N° 3, marzo, 1957.

Greene, James H. y W. H. M. Morris, "The Design of a Forcé Platform for Work Measurement", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 10, N° 4, julio-agosto, 1959.

Greene, James H. y W. H. M. Morris, "The Forcé Platform", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 9, N° 2, marzo-abril, 1958.

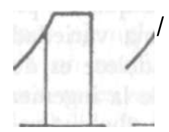
Greene, James H., W. H. M. Morris, y J. E. Wiebers, "A \fethod for \leasuring Physiological Cost of Work", *Journal of Industrial Enginiering,* vol. 10, N° 3, mayo-junio, 1959.

Ingenohl Ingo, "Measuring Physical Effort", *Journal of Induirial Engineering,* vol. 10, N' 2, marzo-abril, 1959.

Ryan, Thomas A., *Work and Effort,* Ronald Press Co., Nuev; York, 1947.

Ryan, Thomas A. y Patricia Cain Smith, *Principies of Industml Psychology,* Ronald Press Co., Nueva York, 1954.

Young, H. H., "The Relationship Between Heart Rate and áe Intensity of Work for Selected Tasks" *Journal of Industrial Engineering,* vol. 7, N» 6, noviembre-diciembre, 1956.



Valoración de la teoría y la práctica empleadas en el diseño de métodos

Las teorías, como las prácticas de la especialidad de diseño de métodos, han sido discutidas ampliamente por personas de las más diversas especialidades, y vale la pena analizar algunas de las diferentes opiniones, cosa que haremos en este capítulo, advirtiéndose que algunas de ellas son más bien de interés teórico que práctico.

El enfoque tradicional que se da a un problema de diseño de métodos

El procedimiento "tradicional", ampliamente difundido, para resolver un problema de diseño de métodos, puede describirse apropiadamente como un proceso rutinario que se aplica una y otra vez, sin ningún cambio substancial. Así, por ejemplo, lo que pudiera llamarse lo "clásico" en la literatura del estudio de tiempos y movimientos, recomienda el siguiente procedimiento generar para la solución de un problema de diseño de métodos.

1. Documentarse respecto al método actual, valiéndose de una o más de las técnicas descriptivas tradicionales en este campo; por ejemplo, un diagrama de flujo.
2. Analizar detalladamente el método actual.
3. Idear un método nuevo.
4. Especificar el método nuevo.

En la mayor parte de la literatura sobre este campo, se hace considerable hincapié en el paso N^{n} 1 de este procedimiento; o sea, la documentación

respecto al método actual presente, en tanto que, generalmente, se descuida la definición y el análisis del problema. Este procedimiento, no sólo se inicia con la solución presente del problema, sino que también parece girar al derredor del método actual, lo que va en detrimento del desempeño del diseñador a largo plazo; otra desventaja aparente de este procedimiento, es que no presta suficiente atención y énfasis a la búsqueda detallada de una variedad de soluciones posibles; sin embargo, de lo que realmente adolece es de la carencia de un enfoque genuino, desde el punto de vista de la ingeniería, a lo que es realmente un problema de diseño.

Sin embargo, resulta muy interesante notar que, en la opinión del autor, en la práctica no se sigue conscientemente la recomendación clásica de que como primer paso de este enfoque, se documente respecto al método actual. El enfoque usado en la práctica parece ser al azar, por lo que los autores y practicantes, prestarían un gran servicio a esta especialidad y a ellos mismos, si le dieran la importancia debida a la ingeniería de métodos.

Los principios actualmente disponibles que pueden servir como guía para elegir entre el hombre y la máquina

Muy pocos son los principios que se relacionan con las capacidades del hombre para ejecutar las diversas tareas productivas, los indiscutiblemente necesarios para que el diseñador pueda elegir entre el hombre y la máquina, pues los que existen, se refieren, por lo general, a otras especialidades.

Después de decidir cuales serán las tareas que el hombre deberá ejecutar en un sistema determinado, se procede a agruparlas en conjuntos de tamaño adecuado, llamados trabajos; es decir: un trabajo es una concatenación de las tareas fundamentales con las que una persona determinada contribuye al sistema.

El proceso consistente en especificar las tareas particulares de que consta un trabajo, es llamado por algunos, diseño del trabajo; pudiendo apreciarse que éste es un proceso predominantemente empírico, y que muy pocas generalizaciones son las que pueden guiar, con seguridad, al diseñador que trata de determinar un trabajo, a partir de tareas fundamentales. Lo que se necesita y de lo que, desde luego, no se dispone, es un conjunto de generalizaciones que guíen al diseñador en este respecto.

Un "principio" sobresaliente que sirve para la agrupación de tareas fundamentales en un trabajo, es el llamado "principio de la división del trabajo", por medio del cual se pueden formar pequeños conjuntos de tareas, esto es, trabajos especializados. La tendencia hacia una mayor especialización ha ido en aumento a través de los siglos, y ha llegado hasta un punto en que, en las últimas décadas, los sociólogos y otros especialistas han puesto en duda y criticado el grado de especialización que se encuentra en muchos trabajos industriales. Es cierto que muchos procesos de producción se han subdividido en un gran número

de trabajos altamente repetitivos, que no requieren de habilidad alguna; de hecho, se pueden mencionar trabajos que tienen un ciclo total de trabajo de tan sólo dos segundos. La especialización tiene muchas ventajas, entre las que se cuentan, disminución del tiempo de aprendizaje, mano de obra menos cara, mejor utilización del equipo, etc.; sin embargo, mientras que estos costos tienden a disminuir conforme se aumenta la especialización, muchos otros tienden, simultáneamente, a aumentar; por ejemplo, el aumento en la división del trabajo, trae como consecuencia un mayor desequilibrio en las capacidades de producción de operaciones sucesivas, un mayor manejo, mayor monotonía, disminución de la flexibilidad, y disminución de la satisfacción obtenida del trabajo. Si la división de trabajo se lleva más allá de un cierto punto, estos efectos adversos cancelarán los beneficios, y el costo total empieza a subir nuevamente; entonces, existe un grado de especialización para el que el costo total es un mínimo, pero existe una controversia considerable en cuanto a cuál es este grado óptimo de especialización.

Algunos escritores y personas que practican esta especialidad, opinan que, en general, la tendencia hacia la división del trabajo ha sobrepasado ya el punto de costo mínimo; siendo muy interesante la consecuencia de esta creencia, pues ya es manifiesta una tendencia contra la especialización, llamada aumento del trabajo. El aumento del trabajo es un intento de ampliar las tareas de un hombre, confiándole un mayor porcentaje de la función productiva total, y una mayor responsabilidad en cosas tales como preparación del trabajo, inspección y cuidado del equipo. Aun cuando muchas compañías e investigadores han intentado este aumento del trabajo, hasta ahora nada se puede concluir de los resultados reportados, a pesar de las opiniones favorables de tal política.

Como quiera que los resultados de estos experimentos, pueden no ser significativos, lo que sí puede resultar significativo, es la tendencia a "desespecializarse"; sin embargo, hasta ahora, persisten todavía la incertidumbre, la confusión y el desacuerdo, de tal suerte que el diseñador debe depender de su criterio para decidir el grado óptimo de especialización que requiere un proceso determinado.

Los principios que se relacionan con la forma de emplear al hombre en el proceso

Los principios relacionados con los métodos óptimos de trabajo, son inadecuados en número y en calidad; los únicos principios de este tipo que realmente originó esta especialidad, son los pocos que se refieren a la economía de los movimientos, y de éstos, muchos son de validez dudosa, y otros se usan muy raramente. Este'conjunto de principios, ha permanecido durante décadas sin ser ampliado ni mejorado. Sin considerar el número y calidad de estos principios, el adelanto logrado en las diversas ramas de la ciencia permitiría concluir que, a estas alturas, estas generalida-

des deberían estar ya perfeccionadas y aumentadas; sin embargo, pocos son los adelantos en los principios de la economía de los movimientos, en comparación, por ejemplo, con el caudal de conocimientos relativamente grande y objetivo, que proporciona la ingeniería humana.

Como una ilustración, recuérdense los principios que sugiere el uso de una trayectoria de movimientos simultáneos y simétricos; pues aunque el uso de tales movimientos es una idea muy promovida y aplicada, desde luego, no es *la* solución de casi todos los problemas de ensamble, ni como indican varios libros de texto, tampoco es claramente superior a otras soluciones posibles. De hecho, es aparente que varias de las aseveraciones con respecto al ahorro de tiempo que se obtiene con este tipo de movimientos, se basan en una experimentación inadecuada. El siguiente "experimento", es un tipo de procedimiento que *no* comprueba la superioridad del uso de una trayectoria de movimientos simultáneos y simétricos: una persona ejecuta una tarea simple y usa un método que no incluye movimientos simétricos y simultáneos. (Este método se llamará, de aquí en adelante, método asimétrico.) Después, la misma persona ejecuta la tarea con el método simultáneo y simétrico prescrito; posteriormente, los tiempos de ejecución se registran y luego se comparan, para indicar la superioridad del último método.

La tarea que con frecuencia se selecciona para efectuar este experimento, consiste en colocar clavijas de madera en su tablero, tal como se muestra en la figura 68, procediendo la investigación en la siguiente forma: primeramente, el sujeto llena el tablero con las clavijas, digamos cinco veces, usando el método asimétrico que se ilustra en la figura 68a en el que una mano coloca las clavijas que se toman con la otra. Para cada ciclo se registra el tiempo que se emplea en llenar el tablero, obteniéndose un tiempo promedio para esta operación, usando el método citado; después, el sujeto repite el procedimiento usando el método simétrico, tal como se ilustra en la figura 686; finalmente, el experimentador hace sus conclusiones comparando los tiempos promedios para los dos métodos. *Bajo este procedimiento experimental,* el método simétrico requiere aproximadamente dos tercios del tiempo que requiere el método asimétrico; sin embargo, la superioridad del método simétrico no se espera que sea tan grande a largo plazo, debido a las razones que se mencionan posteriormente.

El experimento que se acaba de describir escandalizaría a los experimentadores científicos, y con razón; su rechazo de esta investigación se basaría, primeramente, en las siguientes objeciones.

1. La confianza que se pueda tener en los resultados de este experimento puede disiparse con facilidad, simplemente si la prueba se repite y se invierte el orden en que el sujeto ejecuta los dos métodos; si el sujeto llena cinco tableros, usando el método simétrico, y después llena cinco tableros, usando el asimétrico, los tiempos promedios resultantes para los dos métodos serán ordinariamente casi iguales. La superioridad substancial

aparente del método simétrico, que fue encontrada en el primer experimento. se puede atribuir, en parte, si no completamente, al hecho de que el aprendizaje se efectúa con gran rapidez (si el sujeto no tiene experiencia previa en esta tarea); o sea que el método simétrico se beneficia ampliamente de la práctica obtenida por el sujeto después de colocar 150 clavijas usando el método asimétrico, ya que los efectos de la práctica se transmiten de un método a otro. Cuando se invierte el orden en que se efectúan los métodos, el asimétrico toma la posición ventajosa en este respecto y la superioridad del simétrico se cancela, parcial o completamente.[1]

2. En este experimento, el único criterio empleado para medir la superioridad es el tiempo de ejecución; sin embargo, deben tomarse en consideración otros criterios adicionales, tales como la fatiga y monotonía producidas, la energía y el esfuerzo requeridos, etc.; estas consideraciones adicionales son de importancia, especialmente en experimentos de cuyos resultados se harán generalizaciones muy valiosas. Supóngase que el sujeto fuera a ejecutar estos métodos durante períodos de tiempo lo suficientemente prolongados, como para permitir que se manifiesten los efectos de la fatiga; deberá notarse que en el método asimétrico se requieren menos movimientos del brazo, y existe además la posibilidad de alterar el método para disminuir los efectos de la fatiga. Por lo mismo, y contrariamente a lo que indican los experimentos a corto plazo, el método simétrico no es superior al caso contrario, de hecho, para la tarea que se menciona en el experimento descrito, la diferencia a largo plazo entre la productividad de los métodos, puede ser despreciable, como resultado de los efectos de la fatiga.

3. Debido a las diferencias tan marcadas que existen entre las personas, varias de ellas ejecutarán en distinta forma los métodos mencionados anteriormente: así, para la persona *A,* el método simétrico puede ser 25% ntás rápido; para la *B,* los dos métodos pueden ser igualmente productivos; para la *C,* el método asimétrico puede ser superior, etc. Consecuentemente, no se pueden hacer generalizaciones válidas en relación a los dos métodos, con base en la muestra consistente únicamente en una persona; por el contrario, antes de poder llegar a alguna conclusión útil, a partir de la cual se puedan hacer generalizaciones, deberán incluirse muchas personas en dicha muestra.

4. En otros tipos de actividades se presentan situaciones semejantes, y conforme se cambia la naturaleza de la tarea investigada, es de esperarse que los resultados sean muy diferentes. Por consiguiente, debe experimentarse con muchas tareas diferentes, antes de que puedan hacerse generalizaciones útiles.

[1] Bajo estas circunstancias, el experimentador podría eliminar satisfactoriamente los efectos del aprendizaje, si se hiciera que el sujeto ejecutara, por ejemplo, cinco ciclos del método simétrico, después diez ciclos del asimétrico, y luego, otros cinco ciclos del método simétrico, para comparar posteriormente los tiempos promedios. En esta forma, y para los fines prácticos, se balancean parcial o completamente los efectos que la práctica origina, y que causa tanta confusión.

respecto al método actual presente, en tanto que, generalmente, se descuida la definición y el análisis del problema. Este procedimiento, no sólo se inicia con la solución presente del problema, sino que también parece girar al derredor del método actual, lo que va en detrimento del desempeño del diseñador a largo plazo; otra desventaja aparente de este procedimiento, es que no presta suficiente atención y énfasis a la búsqueda detallada de una variedad de soluciones posibles; sin embargo, de lo que realmente adolece es de la carencia de un enfoque genuino, desde el punto de vista de la ingeniería, a lo que es realmente un problema de diseño.

Sin embargo, resulta muy interesante notar que, en la opinión del autor, en la práctica no se sigue conscientemente la recomendación clásica de que como primer paso de este enfoque, se documente respecto al método actual. El enfoque usado en la práctica parece ser al azar, por lo que los autores y practicantes, prestarían un gran servicio a esta especialidad y a ellos mismos, si le dieran la importancia debida a la ingeniería de métodos.

Los principios actualmente disponibles que pueden servir como guía para elegir entre el hombre y la máquina

Muy pocos son los principios que se relacionan con las capacidades del hombre para ejecutar las diversas tareas productivas, los indiscutiblemente necesarios para que el diseñador pueda elegir entre el hombre y la máquina, pues los que existen, se refieren, por lo general, a otras especialidades.

Después de decidir cuales serán las tareas que el hombre deberá ejecutar en un sistema determinado, se procede a agruparlas en conjuntos de tamaño adecuado, llamados trabajos; es decir: un trabajo es una concatenación de las tareas fundamentales con las que una persona determinada contribuye al sistema.

El proceso consistente en especificar las tareas particulares de que consta un trabajo, es llamado por algunos, diseño del trabajo; pudiendo apreciarse que éste es un proceso predominantemente empírico, y que muy pocas generalizaciones son las que pueden guiar, con seguridad, al diseñador que trata de determinar un trabajo, a partir de tareas fundamentales. Lo que se necesita y de lo que, desde luego, no se dispone, es un conjunto de generalizaciones que guíen al diseñador en este respecto.

Un "principio" sobresaliente que sirve para la agrupación de tareas fundamentales en un trabajo, es el llamado "principio de la división del trabajo", por medio del cual se pueden formar pequeños conjuntos de tareas, esto es, trabajos especializados. La tendencia hacia una mayor especialización ha ido en aumento a través de los siglos, y ha llegado hasta un punto en que, en las últimas décadas, los sociólogos y otros especialistas han puesto en duda y criticado el grado de especialización que se encuentra en muchos trabajos industriales. Es cierto que muchos procesos de producción se han subdividido en un gran número

de trabajos altamente repetitivos, que no requieren de habilidad alguna; de hecho, se pueden mencionar trabajos que tienen un ciclo total de trabajo de tan sólo dos segundos. La especialización tiene muchas ventajas, entre las que se cuentan, disminución del tiempo de aprendizaje, mano de obra menos cara, mejor utilización del equipo, etc.; sin embargo, mientras que estos costos tienden a disminuir conforme se aumenta la especialización, muchos otros tienden, simultáneamente, a aumentar; por ejemplo, el aumento en la división del trabajo, trae como consecuencia un mayor desequilibrio en las capacidades de producción de operaciones sucesivas, un mayor manejo, mayor monotonía, disminución de la flexibilidad, y disminución de la satisfacción obtenida del trabajo. Si la división de trabajo se lleva más allá de un cierto punto, estos efectos adversos cancelarán los beneficios, y el costo total empieza a subir nuevamente; entonces, existe un grado de especialización para el que el costo total es un mínimo, pero existe una controversia considerable en cuanto a cuál es este grado óptimo de especialización.

Algunos escritores y personas que practican esta especialidad, opinan que, en general, la tendencia hacia la división del trabajo ha sobrepasado ya el punto de costo mínimo; siendo muy interesante la consecuencia de esta creencia, pues ya es manifiesta una tendencia contra la especialización, llamada aumento del trabajo. El aumento del trabajo es un intento de ampliar las tareas de un hombre, confiándole un mayor porcentaje de la función productiva total, y una mayor responsabilidad en cosas tales como preparación del trabajo, inspección y cuidado del equipo. Aun cuando muchas compañías e investigadores han intentado este aumento del trabajo, hasta ahora nada se puede concluir de los resultados reportados, a pesar de las opiniones favorables de tal política.

Como quiera que los resultados de estos experimentos, pueden no ser significativos, lo que sí puede resultar significativo, es la tendencia a "desespecializarse"; sin embargo, hasta ahora, persisten todavía la incertidumbre, la confusión y el desacuerdo, de tal suerte que el diseñador debe depender de su criterio para decidir el grado óptimo de especialización que requiere un proceso determinado.

Los principios que se relacionan con la forma de emplear al hombre en el proceso

Los principios relacionados con los métodos óptimos de trabajo, son inadecuados en número y en calidad; los únicos principios de este tipo que realmente originó esta especialidad, son los pocos que se refieren a la economía de los movimientos, y de éstos, muchos son de validez dudosa, y otros se usan muy raramente. Este conjunto de principios, ha permanecido durante décadas sin ser ampliado ni mejorado. Sin considerar el número y calidad de estos principios, el adelanto logrado en las diversas ramas de la ciencia permitiría concluir que, a estas alturas, estas generalida-

des deberían estar ya perfeccionadas y aumentadas; sin embargo, pocos son los adelantos en los principios de la economía de los movimientos, en comparación, por ejemplo, con el caudal de conocimientos relativamente grande y objetivo, que proporciona la ingeniería humana.

Como una ilustración, recuérdense los principios que sugiere el uso de una trayectoria de movimientos simultáneos y simétricos; pues aunque el uso de tales movimientos es una idea muy promovida y aplicada, desde luego, no es *la* solución de casi todos los problemas de ensamble, ni como indican varios libros de texto, tampoco es claramente superior a otras soluciones posibles. De hecho, es aparente que varias de las aseveraciones con respecto al ahorro de tiempo que se obtiene con este tipo de movimientos, se basan en una experimentación inadecuada. El siguiente "experimento", es un tipo de procedimiento que *no* comprueba la superioridad del uso de una trayectoria de movimientos simultáneos y simétricos: una persona ejecuta una tarea simple y usa un método que no incluye movimientos simétricos y simultáneos. (Este método se llamará, de aquí en adelante, método asimétrico.) Después, la misma persona ejecuta la tarca con el método simultáneo y simétrico prescrito; posteriormente, los tiempos de ejecución se registran y luego se comparan, para indicar la superioridad del último método.

La tarea que con frecuencia se selecciona para efectuar este experimento, consiste en colocar clavijas de madera en su tablero, tal como se muestra en la figura 68, procediendo la investigación en la siguiente forma: primeramente, el sujeto llena el tablero con las clavijas, digamos cinco veces, usando el método asimétrico que se ilustra en la figura 68a en el que una mano coloca las clavijas que se toman con la otra. Para cada ciclo se registra el tiempo que se emplea en llenar el tablero, obteniéndose un tiempo promedio para esta operación, usando el método citado; después, el sujeto repite el procedimiento usando el método simétrico, tal como se ilustra en la figura 68*b;* finalmente, el experimentador hace sus conclusiones comparando los tiempos promedios para los dos métodos. *Bajo este procedimiento experimental,* el método simétrico requiere aproximadamente dos tercios del tiempo que requiere el método asimétrico; sin embargo, la superioridad del método simétrico no se espera que sea tan grande a largo plazo, debido a las razones que se mencionan posteriormente.

El experimento que se acaba de describir escandalizaría a los experimentadores científicos, y con razón; su rechazo de esta investigación se basaría, primeramente, en las siguientes objeciones.

1. La confianza que se pueda tener en los resultados de este experimento puede disiparse con facilidad, simplemente si la prueba se repite y se invierte el orden en que el sujeto ejecuta los dos métodos; si el sujeto llena cinco tableros, usando el método simétrico, y después llena cinco tableros, usando el asimétrico, los tiempos promedios resultantes para los dos métodos serán ordinariamente casi iguales. La superioridad substancial

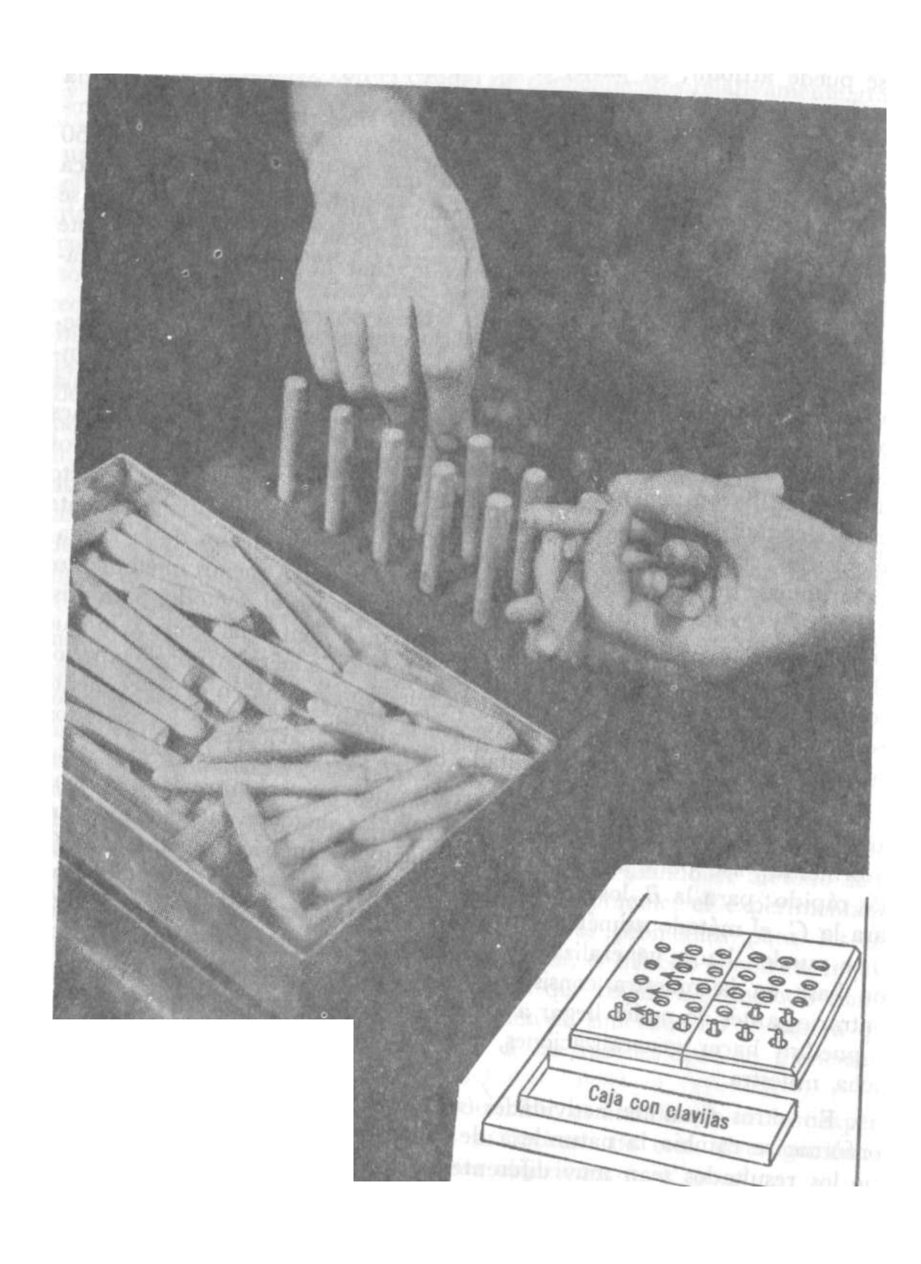
aparente del método simétrico, que fue encontrada en el primer experimento. se puede atribuir, en parte, si no completamente, al hecho de que el aprendizaje se efectúa con gran rapidez (si el sujeto no tiene experiencia previa en esta tarea); o sea que el método simétrico se beneficia ampliamente de la práctica obtenida por el sujeto después de colocar 150 clavijas usando el método asimétrico, ya que los efectos de la práctica se transmiten de un método a otro. Cuando se invierte el orden en que se efectúan los métodos, el asimétrico toma la posición ventajosa en este respecto y la superioridad del simétrico se cancela, parcial o completamente.[1]

2. En este experimento, el único criterio empleado para medir la superioridad es el tiempo de ejecución; sin embargo, deben tomarse en consideración otros criterios adicionales, tales como la fatiga y monotonía producidas, la energía y el esfuerzo requeridos, etc.; estas consideraciones adicionales son de importancia, especialmente en experimentos de cuyos resultados se harán generalizaciones muy valiosas. Supóngase que el sujeto fuera a ejecutar estos métodos durante períodos de tiempo lo suficientemente prolongados, como para permitir que se manifiesten los efectos de la fatiga; deberá notarse que en el método asimétrico se requieren menos movimientos del brazo, y existe además la posibilidad de alterar el método para disminuir los efectos de la fatiga. Por lo mismo, y contrariamente a lo que indican los experimentos a corto plazo, el método simétrico no es superior al caso contrario, de hecho, para la tarea que se menciona en el experimento descrito, la diferencia a largo plazo entre la productividad de los métodos, puede ser despreciable, como resultado de los efectos de la fatiga.

3. Debido a las diferencias tan marcadas que existen entre las personas, varias de ellas ejecutarán en distinta forma los métodos mencionados anteriormente: así, para la persona *A,* el método simétrico puede ser 25% más rápido; para la *B,* los dos métodos pueden ser igualmente productivos; para la *C,* el método asimétrico puede ser superior, etc. Consecuentemente, no se pueden hacer generalizaciones válidas en relación a los dos métodos, con base en la muestra consistente únicamente en una persona; por el contrario, antes de poder llegar a alguna conclusión útil, a partir de la cual se puedan hacer generalizaciones, deberán incluirse muchas personas en dicha muestra.

4. En otros tipos de actividades se presentan situaciones semejantes, y conforme se cambia la naturaleza de la tarea investigada, es de esperarse que los resultados sean muy diferentes. Por consiguiente, debe experimentarse con muchas tareas diferentes, antes de que puedan hacerse generalizaciones útiles.

[1] Bajo estas circunstancias, el experimentador podría eliminar satisfactoriamente los efectos del aprendizaje, si se hiciera que el sujeto ejecutara, por ejemplo, cinco ciclos del método simétrico, después diez ciclos del asimétrico, y luego, otros cinco ciclos del método simétrico, para comparar posteriormente los tiempos promedios. En esta forma, y para los fines prácticos, se balancean parcial o completamente los efectos que la práctica origina, y que causa tanta confusión.



editor.)



Figura 68b. El método simétrico simultáneo para colocar clavijas en un tablero. (De Ralph M. Barnes, Motion and Time Study, 4a. ed., John Wiley and Sons, New York, 1958. Con permiso del editor.)

5. Existen muchas razones por las que los métodos deben compararse durante períodos prolongados; pues a una misma persona, los dos métodos pueden parecerle muy diferentes, antes y después de adquirir la experiencia necesaria para ejecutarlos; inclusive, las curvas de aprendizaje para los dos métodos pueden ser significativamente diferentes. Para la tarea mencionada en el experimento descrito anteriormente, es probable que los efectos de la práctica sean mayores en el método simétrico, en lo que se refiere al tiempo de ejecución, pero esto puede determinarse únicamente si los dos métodos se comparan durante mucho tiempo, después de miles de repeticiones.

Estas objeciones a la forma como se condujo el experimento descrito, ofrecen una indicación del tipo de investigaciones que se requieren para respaldar experimentalmente los "principios" de la economía de los movimientos; además, estos puntos deben tenerse en mente cuando se interpreten los resultados obtenidos respecto a estudios de esta naturaleza.

Otras críticas

Un reconocimiento sobre la práctica en la industria, muestra que la ingeniería de métodos todavía se preocupa predominantemente por actividades de mano de obra directa; durante décadas se ha dedicado a operaciones relativamente simples y repetitivas; mientras que la mano de obra indirecta, los manipuladores, inspectores, el personal de mantenimiento y el de oficina, han aumentado drásticamente en términos de números y costo total. En la industria de la manufactura de los Estados Unidos la relación entre el número de trabajadores que efectúan trabajos indirectos y los que efectúan trabajos directos, se acerca rápidamente a la unidad; pol-lo tanto, concierne al departamento de ingeniería de métodos, si aún no lo ha hecho, encauzar una parte considerable de los recursos de que dispone, hacia el papel indirecto que el hombre desempeña en el sistema de manufactura.

Se ha dicho que esta especialidad muestra una ineptitud general para manejar los problemas de relaciones humanas que implica tal trabajo, especialmente en la forma de introducir los cambios del personal de supervisión y de trabajadores. En opinión del autor, esta es una crítica válida; sin embargo, se ha logrado un progreso considerable.

Otra crítica, sobre la cual no existe duda alguna, consiste en que la especialidad ha permanecido sorpresivamente estática desde el tiempo de los "pioneros", en la primera parte del siglo; pues los cambios y contribuciones substanciales no han sido frecuentes, especialmente los provenientes de los especialistas en la materia.

REFERENCIAS

Arnrine, Harold T. y D. Edward Nichols, "A Physiological Appraisal of Selected Principies of Motion Economy", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 10, N° 5, septiembre-octubre, 1959.

,,, ir Raymond N, "A F,,,h Look « the Principie» oí Moüon Eco W,

" ¿«rrví: ,, * * * * *
r r ' i y VTiKr; T»a*™», m m , » ^

eering vol. 8, N' 5, septiembre-octubre, 1957.

fiomberg, Wiliam, *A Trade Union Analysts of Time Stutj,* Prentice-Hall, Englevvood Cliffs, New Jersey, 1955.

PARTE IV

MEDICION DEL TRABAJO

Introducción a la medición del trabajo

Importancia de los tiempos estándar de ejecución en las operaciones de manufactura

Imaginemos una compañía manufacturera de tamaño medio, la que produce una diversidad de artículos de equipo pesado, algunos para inventario, y otros, de acuerdo con las especificaciones de clientes. Como en la mayoría de las plantas, son muchas las razones que hacen necesario tener estimaciones de tiempos para sus operaciones de manufactura.

Cuandc un cliente potencial envía las especificaciones de una pieza de equipo para su manufactura, la compañía debe cotizar un precio competitivo para ese trabajo; y para hacer su oferta, la compañía debe estimar el cowco de manufactura, lo que a su vez requiere una estimación satisfactoria del tiempo que este producto requerirá del sistema de fabricación. U ia compañía que no cuente con estas estimaciones de tiempo, para cada una de las operaciones realizadas en su planta, se encontrará en una posición desventajos? cuando pretenda cotizar trabajos en prospecto; pues son obvias las consecuencias de una mala cotización, ya sea alta o baja. Por consiguiente,! érmuy importante poder disponer de estimaciones de tiempos para operaciones individuales, a partir de las cuales se pueda deducir el tiempo total de manufactura, para establecer el precio de un producto, no solamente cuando el producto se produce como un artículo estándar de inventario, sino también para situaciones en las que se produce de acuerdo con las especificaciones del cliente.

La compañía en estudio posee un equipo de muchas piezas y de tipos muy variados; algunos productos demandan cierto tipo de piezas, otros, demandan otro, y la frecuencia y duración de la demanda también varían; existe, por consecuencia, un complejo problema de programación. El de-

partamento de programación debe disponer de estimaciones razonablemente exactas de los tiempos para las diversas actividades de la planta, si ^ que quiere evitar que las máquinas estén ociosas durante mucho tiempo o para eliminar la confusión general que pudiera suscitarse en la sala de producción, y para que se puedan determinar y cumplir las fechas de embarque a los clientes. Estos tiempos se hacen necesarios, para que lo„ programadores puedan pronosticar satisfactoriamente los tiempos de llegada y de salida de los trabajos en las máquinas, para planear la llegada de los materiales que se reciben y, por otra parte, mantener el orden y evitar un caos potencial.

Debido a que se requiere cierto tiempo para la adquisición de equipo de producción y trabajadores con la habilidad requerida, es conveniente que los programadores estén en la posición de poder predecir las necesidades de equipo y mano de obra, basándose en pronósticos de producción a largo plazo. Las predicciones de las horas hombre y horas máquina necesarias en el futuro, se obtienen a partir de las estimaciones de los tiempos para las operaciones, y de los volúmenes de producción previstos para períodos futuros.

Es probable que esta planta les pague a sus empleados de producción, de acuerdo con un plan de incentivos; bajo este sistema, al trabajador se le paga de acuerdo con la cantidad por la cual él excede a una cierta tasa de producción establecida para su trabajo; específicamente, se le paga con base en la siguiente relación:

$$\frac{\text{tiempo oficial permitido para completar el trabajo}}{\text{tiempo realmente requerido para completar el trabajo}}$$

Para que funcione un plan como éste, es necesario disponer de un "tiempo permitido" para cada operación, con el cual se comparará el tiempo real que el trabajador emplea; asimismo, esta relación puede usarse como una base para decisiones concernientes a promociones, aumento de salarios, y acción correctiva con respecto a los empleados (adiestramiento adicional, transferencias, etc.). Igualmente, esta relación puede usarse para evaluar a todo un departamento, así como a su supervisor, si se acumul la siguiente relación para un cierto intervalo de tiempo, digamos un mes:

$$\frac{\text{horas totales oficialmente permitidas para completar trabajo en cierto período}}{\text{horas totales requeridas realmente por el Depto. para completar ese trabajo}}$$

Si esta relación es significativamente mayor que uno, se deberá considerar que el encargado del departamento está realizando un trabajo efectivo; pero si es significativamente menor que uno, entonces la gerencia prestará una atención mayor al funcionamiento de ese departamento.

Son varias las razones por las que la compañía estará interesada en estos tiempos permitidos para sus operaciones, pues ellos pueden usarse como base para establecer los costos estándar de las operaciones y los productos en toda la planta; por ejemplo, si el tiempo estándar para

operación efectuada sobre un cierto producto es de 0.10 horas, y el trabajador en ese trabajo recibe 1.50 Dls. por hora, el costo estándar je mano de obra para esa operación será de 1.50 Dls. por hora N; 0.10 hora, o de 0.15 Dls. (esta es una explicación muy simplificada del principio de los costos estándar). Si la gerencia compara los costos reales con los estándar, de las operaciones y los productos, podrá descubrir los casos en que éstos son excesivos, y que es necesaria una acción correctiva.

Debe notarse que, en una empresa manufacturera, existen dos tipos básicos de aplicaciones de las estimaciones de los tiempos, a saber: en la planeación y en la evaluación. Entre las primeras podemos citar a la programación, previsión de las necesidades de mano de obra, cotizaciones, determinación de precios, y elección entre "hacer o comprar"; siendo todas ellas decisiones concernientes a futuros cursos de acción de la empresa, tales como *qué* hacer, *cómo,* y *cuándo.* Entre los casos en que los tiempos estimados se usan como una base para la evaluación, podemos mencionar el método de pago de salarios por incentivos, el sistema de costos estándar y los presupuestos de control, pudiendo observarse que implican una decisión concerniente a *la efectividad* con la que desempeñan sus tareas asignadas el operador, el supervisor, la máquina, el departamento, etc.; las aplicaciones dentro de esta categoría, involucran una evaluación del rendimiento de operación.

Por medio de un ejemplo podemos fijar ideas respecto a las diferencias entre estos tipos de aplicaciones de los tiempos estimados. Supóngase que el operador *A,* emplea normalmente un promedio de 10 minutos para terminar una unidad de producto en la operación *X;* el tiempo estimado para que él termine un lote de 100 unidades en esta operación, será;

$$\frac{10\ \text{min.} \times 100\ \text{unidades}}{60\ \text{min. por hora}} = 16.7\ \text{horas}$$

De acuerdo con esto, el departamento de programación deberá tomar en consideración el hecho de que se espera que el trabajador *A* emplee 16.7 horas en este trabajo, tanto al programar las operaciones subsecuentes que se efectuarán sobre este lote de 100 unidades, como al programar al operador *A* y a su máquina para éste y otros trabajos. Supóngase, además que en virtud del desempeño en toda la planta, el tiempo que se considera normal para esta operación, es de 12 minutos; entonces, cuando posteriormente el operador *A* ejecutó la operación *X* sobre las 100 unidades, requirió realmente tan sólo 15 horas en total, o sea, 9 minutos por pieza. El tiempo normal de 12 minutos indica que la operación *X* se ejecutó a una velocidad relativamente alta, ya que la relación

$$\frac{\text{tiempo permitido oficialmente}}{\text{tiempo empleado realmente}}$$

Es de 12/9 ó 1.33, y bajo el plan de incentivos se le pagaría al operador de acuerdo con esta relación. Así, si el salario base para la operación *X*

fuese de $1.40 Dls. por hora, recibiría 1.33 X 1-40 Dls., o sea 1.86 Dls. por hora, por su trabajo en estas 100 unidades. Deberá notarse que los 12 minutos se usan para evaluar el tiempo empleado en la ejecución de la operación, mientras que los 10 minutos estimados son una medición de este último.

Deberán apreciarse las maneras fundamentales diferentes en que se aplican estos dos tiempos estimados, y que el tipo de tiempo estimado que es más apropiado para la planeación, no es igualmente apropiado para la evaluación, y viceversa. Por ejemplo, para la planeación, en donde se intenta predecir el tiempo que se empleará en una operación, es lógico emplear una extrapolación lineal del tiempo de ejecución; sin embargo, esto no es apropiado para fines de evaluación, ya que se necesita otro tipo diferente de tiempo. En este caso, el tipo lógico de tiempo estimado que se usa es una norma o referencia, lo que en la práctica se conoce como un estándar (los 12 minutos, en el ejemplo anterior). En la relación para el pago de salarios mencionada anteriormente, el tiempo estándar es el que se usa en el numerador, mientras que lo que se quiere predecir es el denominador.

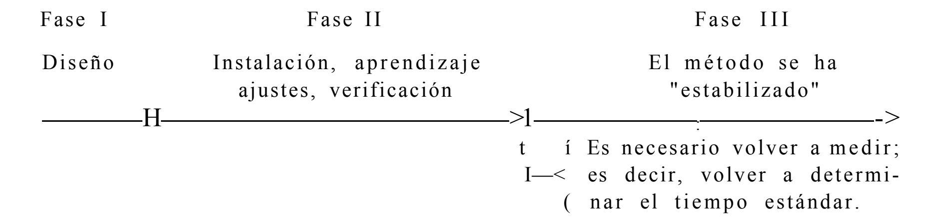
Por consiguiente, para la planeación, se necesita un *pronóstico,* mientras que para la evaluación se necesita un *estándar.* El pronóstico del tiempo real deberá representar lo que hará el trabajador que se asigne al trabajo. Independientemente de que este tiempo sea o no satisfactorio, deberá conocerse para planear el flujo de materiales y la utilización del equipo; además, el tiempo estándar es independiente del operador particular que se asigne al trabajo y de la velocidad a la que él produzca; así, para el trabajo *X* del ejemplo anterior, el tiempo estándar es de 12 minutos, sin importar quien lo ejecute; este es un tiempo que será usado para evaluar, y no para predecir la velocidad de producción del trabajador.

No obstante que, lógicamente, se necesitan dos tipos fundamentalmente diferentes de tiempos estimados, comúnmente sólo se establece el tiempo estándar para una operación, usándolo con fines de evaluación y planeación; por consiguiente, en lo que resta del capítulo se hará énfasis en los métodos para ODtener el tiempo estándar que requiere una operación.

Estudio de tiempos (medición del trabajo)

En muchas ocasiones se encuentra que el tiempo de ejecución estimado por el diseñador, para una operación nueva o perfeccionada, resulta lo suficientemente exacto una vez que el trabajo se ha realizado, por lo que puede verse para los fines de planeación y evaluación descritos. Sin embargo, esto no sucede siempre, sino que con frecuencia tiene que revisarse el tiempo estándar hecho por el diseñador después de que la operación ha sido instalada y ha trabajado sin problemas, si es que ha de usarse con los fines mencionados. Gran parte de la discrepancia entre el tiempo estándar que se predijo, y el que subsecuentemente comprueba ser el más

apropiado, se debe a los cambios de métodos que se efectúan entre la fase de diseño y cuando la operación ha sido ya instalada y probada satisfactoriamente. De ordinario, existe un tiempo considerable entre las fases I y III, mostradas en el diagrama que se incluye. Con frecuencia, existen oportunidades y razones para que las especificaciones originales del diseñador cambien durante este período.



Las especificaciones originales se modifican, debido a que el diseño original no se adapta a la realidad, a que durante ese lapso se descubren ideas mejores, o a que el método especificado se intenta adaptar a un operador en particular; consecuentemente, cuando la operación está en la fase III, instalada y operando sin problemas, frecuentemente se hace necesario efectuar un "estudio de tiempos" especial, para establecer el tiempo de ejecución estándar, que sea representativo del método finalmente desarrollado.

Muchos estudios de tiempos se efectúan completamente aparte del proceso de diseño, de modo particular en aquellas operaciones en la planta para las cuales el método no ha sido nunca diseñado formalmente por un ingeniero, aunque para ello la gerencia requiere tiempos estándar. Por consiguiente, debido a la necesidad ocasional de volver a medir las operaciones diseñadas formalmente, y a que la gerencia desea disponer de tiempos estándar para todas las operaciones, a los cuales les da una gran importancia, la mayoría de las compañías cuentan con un departamento de estudio de tiempos, creado con el único propósito de establecer los tiempos estándar para las operaciones de manufactura de la compañía; el proceso de medición que este departamento realiza, se conoce como estudio de tiempos, y no obstante que el término medición de trabajo es inapropiado, adquiere cada día más popularidad.

A quienes no estén familiarizados con esta especialidad, les causará sorpresa pensar que lo que parece algo tan rutinario, consistente sólo en observar el reloj y escribir las lecturas, sea en realidad un asunto tan explosivo, problemático, y que origine tantas controversias; y realmente, ha llegado a ser el origen de una cantidad casi increíble de fricción entre los obreros y la gerencia.

Uno de los muchos factores que disipan toda característica rutinaria a este proceso, es el hecho de que el fenómeno que se mide se ve afectado considerablemente por el mismo acto de medirlo; ya que el proceso de realizar un estudio de tiempos es comparable a un policía que observa a

un grupo de muchachos traviesos; su sola presencia origina automáticamente un cambio en el comportamiento del grupo.

Otro factor que complica' el asunto es el hecho de que, en general, una vez que se establece ef estándar, éste ne puede reducirse arbitraria->íaente, aun cuando la compañía, se da cuenta de que los tiempos son muy liberales, pues existe una clá,uXuia«wi}y restricta en la. mayoría de los contratos obrero-patronales, por la • <jr*iC" COm'paftía puWe reducir el tiempo estándar *únicamente* si se efectúa un cainblo considíírable en la operación en sí, o si se cometió un error de oficina al determinar el estándar.

Algo que indica su naturaleza vivida y originaria dé controversias, es el interés vital que tienen los sindicatos en el procedimiento seguido, en los resultados obtenidos en el estudio de tiempos; de hecho, algunos sindicatos disponen de departamentos especiales creados para aconsejar y establecer las normas en relación a los estudios de tiempos; además, frecuentemente los sindicatos cuentan con un personal especializado, a cuyos integrantes se les llama mayordomos de estudios de tiempos, y quienes se encuentran en la planta con el fin de proteger los derechos de los trabajadores, protestar y pactar cuando se trata de asuntos relacionados con los tiempos estándar.

Esta es una especialidad con una fascinante historia, caracterizada en los Estados Unidos por una investigación efectuada por el Congreso, en los períodos en que estaban de moda los estudios secretos de tiempos, y en los que las gerencias disminuían a su completo arbitrio los estándares, por veintenas de costosas huelgas de brazos caídos, por miríadas de misteriosos sistemas y proyectos, veintenas de charlatanes que se decían peritos en la especialidad, etc.

Por consiguiente, detrás de los estudios de tiempos existe mucho más de lo que pudiera parecer a primera vista; los problemas que de ellos se originan son ciertamente numerosos, de gran trascendencia, y con frecuencia molestos; pero a pesar de su naturaleza problemática, los resultados del proceso del estudio de tiempos son vitales para la gerencia.

No se debe subestimar el interés que las gerencias tienen para obtener una tasa elevada de producción, o la necesidad que tienen de disponer, de antemano, de las estimaciones de su productividad, todo ello para que se puedan planear adecuadamente las actividades y adquisiciones.

LA INFLUENCIA DEL METODO DE INCENTIVOS PARA EL PAGO DE SALARIOS

Debido a la influencia que tiene el método de incentivos para el pago de salarios sobre los estudios de tiempos, políticas y problemas, debemos desviar nuestra atención de ello por ahora, para posteriormente discutir este asunto con más detalle. Para poder entender los problemas concernientes al estudio de tiempos, es muy útil entender, primero, las demandas de un plan de incentivos, con relación al tipo y calidad de los tiempos

estándar necesarios, para así poder apreciar la magnitud y origen de las dificultades que surgen si estas demandas no se satisfacen.

Eh principio del método de incentivos

Este principio implica establecer una rapidez estándar de trabajo, recompensando con dinero extra a los trabajadores que la superan; por ejemplo, la tasa estándar de producción para una operación, es de 5 unida-

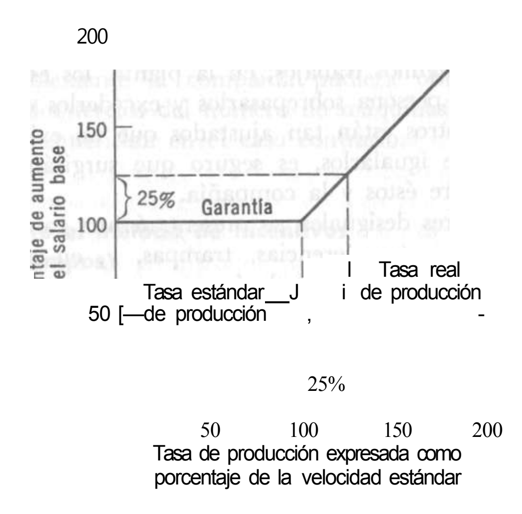


Figura 69. El principio del método de incentivos ilustrado por el plan común de uno-a-uno. Si el trabajador mejora el estándar un 25 por ciento, obtiene un aumento de 25 por ciento en su salario por hora.

des por hora; si un operador produce 50 unidades en un día de 8 horas, su "salario base" se verá aumentado, en el tipo más común del plan, por el siguiente factor:

$$\frac{\text{producción real en el período: 50 unidades}}{\text{producción estándar para el período: } (8 \times 5) \text{ unidades}} = 1.25$$

Si se supone que su salario por hora es de 1.60 Dls., este operador recibirá 1.25 X 1.60 Dls., o 2.00 Dls. por hora, como resultado de haber mejorado el estándar en un 25 por ciento.

Ordinariamente, esta "bonificación" varía en proporción directa con el grado en el que se supera el estándar; éste se conoce como el acuerdo uno a uno, y bajo éste, un aumento de 25 por ciento sobre el estándar, trae como consecuencia un aumento de un 25 por ciento en la paga. En la figura 69 se muestra una representación gráfica del plan, debiendo notarse que éste tiene una garantía, ya que al empleado se le garantiza su salario base, ya sea que trabaje a la velocidad estándar, o a una velocidad menor.

fuese de $1.40 Dls. por hora, recibiría 1.33 X 1-40 Dls., o sea 1.86 Dls. por hora, por su trabajo en estas 100 unidades. Deberá notarse que los 12 minutos se usan para evaluar el tiempo empleado en la ejecución de la operación, mientras que los 10 minutos estimados son una medición de este último.

Deberán apreciarse las maneras fundamentales diferentes en que se aplican estos dos tiempos estimados, y que el tipo de tiempo estimado que es más apropiado para la planeación, no es igualmente apropiado para la evaluación, y viceversa. Por ejemplo, para la planeación, en donde se intenta predecir el tiempo que se empleará en una operación, es lógico emplear una extrapolación lineal del tiempo de ejecución; sin embargo, esto no es apropiado para fines de evaluación, ya que se necesita otro tipo diferente de tiempo. En este caso, el tipo lógico de tiempo estimado que se usa es una norma o referencia, lo que en la práctica se conoce como un estándar (los 12 minutos, en el ejemplo anterior). En la relación para el pago de salarios mencionada anteriormente, el tiempo estándar es el que se usa en el numerador, mientras que lo que se quiere predecir es el denominador.

Por consiguiente, para la planeación, se necesita un *pronóstico,* mientras que para la evaluación se necesita un *estándar.* El pronóstico del tiempo real deberá representar lo que hará el trabajador que se asigne al trabajo. Independientemente de que este tiempo sea o no satisfactorio, deberá conocerse para planear el flujo de materiales y la utilización del equipo; además, el tiempo estándar es independiente del operador particular que se asigne al trabajo y de la velocidad a la que él produzca; así, para el trabajo *X* del ejemplo anterior, el tiempo estándar es de 12 minutos, sin importar quien lo ejecute; este es un tiempo que será usado para evaluar, y no para predecir la velocidad de producción del trab^ador.

No obstante que, lógicamente, se necesitan dos tipos fundamentalmente diferentes de tiempos estimados, comúnmente sólo se establece el tiempo estándar para una operación, usándolo con fines de evaluación y planeación; por consiguiente, en lo que resta del capítulo se hará énfasis en los métodos para oDtener el tiempo estándar que requiere una operación.

Estudio de tiempos (medición del trabajo)

En muchas ocasiones se encuentra que el tiempo de ejecución estimado por el diseñador, para una operación nueva o perfeccionada, resulta lo suficientemente exacto una vez que el trabajo se ha realizado, por lo que puede verse para los fines de planeación y evaluación descritos. Sin embargo, esto no sucede siempre, sino que con frecuencia tiene que revisarse el tiempo estándar hecho por el diseñador después de que la operación ha sido instalada y ha trabajado sin problemas, si es que ha de usarse con los fines mencionados. Gran parte de la discrepancia entre el tiempo estándar que se predijo, y el que subsecuentemente comprueba ser el más

r

apropiado, se debe a los cambios de métodos que se efectúan entre la fase de diseño y cuando la operación ha sido ya instalada y probada satisfactoriamente. De ordinario, existe un tiempo considerable entre las fases I y III, mostradas en el diagrama que se incluye. Con frecuencia, existen oportunidades y razones para que las especificaciones originales del diseñador cambien durante este período.

Fase I	Fase II	Fase III
Diseño	Instalación, aprendizaje ajustes, verificación	El método se ha "estabilizado"
		Es necesario volver a medir; es decir, volver a determinar el tiempo estándar.

Las especificaciones originales se modifican, debido a que el diseño original no se adapta a la realidad, a que durante ese lapso se descubren ideas mejores, o a que el método especificado se intenta adaptar a un operador en particular; consecuentemente, cuando la operación está en la fase III, instalada y aperando sin problemas, frecuentemente se hace necesario efectuar un 'estudio de tiempos" especial, para establecer el tiempo de ejecución estándar, que sea representativo del método finalmente desarrollado.

Muchos estudios de tiempos se efectúan completamente aparte del proceso de diseño, de modo particular en aquellas operaciones en la planta para las cuales el método no ha sido nunca diseñado formalmente por un ingeniero, aunque para ello la gerencia requiere tiempos estándar. Por consiguiente, debido a la necesidad ocasional de volver a medir las operaciones diseñadas formalmente, y a que la gerencia desea disponer de tiempos estándar para todas las operaciones, a los cuales les da una gran importancia, la mayoría de las compañías cuentan con un departamento de estudio de tiempos, creado con el único propósito de establecer los tiempos estándar para las operaciones de manufactura de la compañía; el proceso de medición que este departamento realiza, se conoce como estudio de tiempos, y no obstante que el término medición de trabajo es inapropiado, adquiere cada día más popularidad.

A quienes no estén familiarizados con esta especialidad, les causará sorpresa pensar que lo que parece algo tan rutinario, consistente sólo en observar el reloj y escribir las lecturas, sea en realidad un asunto tan explosivo, problemático, y que origine tantas controversias; y realmente, ha llegado a ser el origen de una cantidad casi increíble de fricción entre los obreros y la gerencia.

Uno de los muchos factores que disipan toda característica rutinaria a este proceso, es el hecho de que el fenómeno que se mide se ve afectado considerablemente por el mismo acto de medirlo; ya que el proceso de realizar un estudio de tiempos es comparable a un policía que observa a

partamento de programación debe disponer de estimaciones razonablemente exactas de los tiempos para las diversas actividades de la planta, si es que quiere evitar que las máquinas estén ociosas durante mucho tiempo o para eliminar la confusión general que pudiera suscitarse en la sala de producción, y para que se puedan determinar y cumplir las fechas de embarque a los clientes. Estos tiempos se hacen necesarios, para que los programadores puedan pronosticar satisfactoriamente los tiempos de llegada y de salida de los trabajos en las máquinas, para planear la llegada de los materiales que se reciben y, por otra parte, mantener el orden y evitar un caos potencial.

Debido a que se requiere cierto tiempo para la adquisición de equipo de producción y trabajadores con la habilidad requerida, es conveniente que los programadores estén en la posición de poder predecir las necesidades de equipo y mano de obra, basándose en pronósticos de producción a largo plazo. Las predicciones de las horas hombre y horas máquina necesarias en el futuro, se obtienen a partir de las estimaciones de los tiempos para las operaciones, y de los volúmenes de producción previstos para períodos futuros.

Es probable que esta planta les pague a sus empleados de producción, de acuerdo con un plan de incentivos; bajo este sistema, al trabajador se le paga de acuerdo con la cantidad por la cual él excede a una cierta tasa de producción establecida para su trabajo; específicamente, se le paga con base en la siguiente relación:

$$\frac{\text{tiempo oficial permitido para completar el trabajo}}{\text{tiempo realmente requerido para completar el trabajo}}$$

Para que funcione un plan como éste, es necesario disponer de un "tiempo permitido" para cada operación, con el cual se comparará el tiempo real que el trabajador emplea; asimismo, esta relación puede usarse como una base para decisiones concernientes a promociones, jumento de salarios, y acción correctiva con respecto a los empleados (adiestramiento adicional, transferencias, etc.). Igualmente, esta relación puede usarse para evaluar a todo un departamento, así como a su supervisor, si se acumula la siguiente relación para un cierto intervalo de tiempo, digamos un mes:

$$\frac{\text{horas totales oficialmente permitidas para completar trabajo en cierto período}}{\text{horas totales requeridas realmente por el Depto. para completar ese trabajo}}$$

Si esta relación es significativamente mayor que uno, se deberá considerar que el encargado del departamento está realizando un trabajo efectivo; pero si es significativamente menor que uno, entonces la gerencia prestará una atención mayor al funcionamiento de ese departamento.

Son varias las razones por las que la compañía estará interesada en estos tiempos permitidos para sus operaciones, pues ellos pueden usarse como base para establecer los costos estándar de las operaciones y los productos en toda la planta; por ejemplo, si el tiempo estándar para

una operación efectuada sobre un cierto producto es de 0.10 horas, y el trabajador en ese trabajo recibe 1.50 Dls. por hora, el costo estándar de mano de obra para esa operación será de 1.50 Dls. por hora X 0.10 hora, o de 0.15 Dls. (esta es una explicación muy simplificada del principio de los costos estándar). Si la gerencia compara los costos reales con los estándar, de las operaciones y los productos, podrá descubrir los casos en que éstos son excesivos, y que es necesaria una acción correctiva.

Debe notarse que, en una empresa manufacturera, existen dos tipos básicos de aplicaciones de las estimaciones de los tiempos, a saber: en la planeación y en la evaluación. Entre las primeras podemos citar a la programación, previsión de las necesidades de mano de obra, cotizaciones, determinación de precios, y elección entre "hacer o comprar"; siendo todas ellas decisiones concernientes a futuros cursos de acción de la empresa, tales como *qué* hacer, *cómo*, y *cuándo.* Entre los casos en que los tiempos estimados se usan como una base para la evaluación, podemos mencionar el método de pago de salarios por incentivos, el sistema de costos estándar y los presupuestos de control, pudiendo observarse que implican una decisión concerniente a *la efectividad* con la que desempeñan sus tareas asignadas el operador, el supervisor, la máquina, el departamento, etc.; las aplicaciones dentro de esta categoría, involucran una evaluación del rendimiento de operación.

Por medio de un ejemplo podemos fijar ideas respecto a las diferencias entre estos tipos de aplicaciones de los tiempos estimados. Supóngase que el operador *A,* emplea normalmente un promedio de 10 minutos para terminar una unidad de producto en la operación *X;* el tiempo estimado para que él termine un lote de 100 unidades en esta operación, será:

$$\frac{10\text{ min. X } 100\text{ unidades}}{60\text{ min. por hora}} = 16.7\text{ horas}$$

De acuerdo con esto, el departamento de programación deberá tomar en consideración el hecho de que se espera que el trabajador *A* emplee 16.7 horas en este trabajo, tanto al programar las operaciones subsecuentes que se efectuarán sobre este lote de 100 unidades, como al programar al operador *A* y a su máquina para éste y otros trabajos. Supóngase, además, que en virtud del desempeño en toda la planta, el tiempo que se considera normal para esta operación, es de 12 minutos; entonces, cuando posteriormente el operador *A* ejecutó la operación *X* sobre las 100 unidades, requirió realmente tan sólo 15 horas en total, o sea, 9 minutos por pieza. El tiempo normal de 12 minutos indica que la operación *X* se ejecutó a una velocidad relativamente alta, ya que la relación

$$\frac{\text{tiempo permitido oficialmente}}{\text{tiempo empleado realmente}}$$

Es de 12/9 ó 1.33, y bajo el plan de incentivos se le pagaría al operador de acuerdo con esta relación. Así, si el salario base para la operación *X*

fuese de $1.40 Dls. por hora, recibiría 1.33 X 1-40 Dls., o sea 1.86 Dls por hora, por su trabajo en estas 100 unidades. Deberá notarse que los 12 minutos se usan para evaluar el tiempo empleado en la ejecución de la operación, mientras que los 10 minutos estimados son una medición de este último.

Deberán apreciarse las maneras fundamentales diferentes en que se aplican estos dos tiempos estimados, y que el tipo de tiempo estimado que es más apropiado para la planeación, no es igualmente apropiado para la evaluación, y viceversa. Por ejemplo, para la planeación, en donde se intenta predecir el tiempo que se empleará en una operación, es lógico emplear una extrapolación lineal del tiempo de ejecución; sin embargo, esto no es apropiado para fines de evaluación, ya que se necesita otro tipo diferente de tiempo. En este caso, el tipo lógico de tiempo estimado que se usa es una norma o referencia, lo que en la práctica se conoce como un estándar (los 12 minutos, en el ejemplo anterior). En la relación para el pago de salarios mencionada anteriormente, el tiempo estándar es el que se usa en el numerador, mientras que lo que se quiere predecir es el denominador.

Por consiguiente, para la planeación, se necesita un *pronóstico,* mientras que para la evaluación se necesita un *estándar.* El pronóstico del tiempo real deberá representar lo que hará el trabajador que se asigne al trabajo. Independientemente de que este tiempo sea o no satisfactorio, deberá conocerse para planear el flujo de materiales y la utilización del equipo; además, el tiempo estándar es independiente del operador particular que se asigne al trabajo y de la velocidad a la que él produzca; así, para el trabajo *X* del ejemplo anterior, el tiempo estándar es de 12 minutos, sin importar quien lo ejecute; este es un tiempo que será usado para evaluar, y no para predecir la velocidad de producción del trabajador.

No obstante que, lógicamente, se necesitan dos tipos fundamentalmente diferentes de tiempos estimados, comúnmente sólo se establece el tiempo estándar para una operación, usándolo con fines de evaluación y planeación; por consiguiente, en lo que resta del capítulo se hará énfasis en los métodos para ODtener el tiempo estándar que requiere una operación.

Estudio de tiempos (medición del trabajo)

En muchas ocasiones se encuentra que el tiempo de ejecución estimado por el diseñador, para una operación nueva o perfeccionada, resulta lo suficientemente exacto una vez que el trabajo se ha realizado, por lo que puede verse para los fines de planeación y evaluación descritos. Sin embargo, esto no sucede siempre, sino que con frecuencia tiene que revisarse el tiempo estándar hecho por el diseñador después de que la operación ha sido instalada y ha trabajado sin problemas, si es que ha de usarse con los fines mencionados. Gran parte de la discrepancia entre el tiempo estándar que se predijo, y el que subsecuentemente comprueba ser el más

apropiado, se debe a los cambios de métodos que se efectúan entre la fase de diseño y cuando la operación ha sido ya instalada y probada satisfactoriamente. De ordinario, existe un tiempo considerable entre las fases I y III, mostradas en el diagrama que se incluye. Con frecuencia, existen oportunidades y razones para que las especificaciones originales del diseñador cambien durante este período.

pase I	Fase II	Fase III
Diseño	Instalación, aprendizaje ajustes, verificación	El método se ha "estabilizado"

t" í Es necesario volver a medir;
I—i es decir, volver a determi-
[nar el tiempo estándar.

Las especificaciones originales se modifican, debido a que el diseño original no se adapta a la realidad, a que durante ese lapso se descubren ideas mejores, o a que el método especificado se intenta adaptar a un operador en particular; consecuentemente, cuando la operación está en la fase III, instalada y opeando sin problemas, frecuentemente se hace necesario efectuar un "estudio de tiempos" especial, para establecer el tiempo de ejecución estándar, que sea representativo del método finalmente desarrollado.

Muchos estudios de tiempos se efectúan completamente aparte del proceso de diseño, de modo particular en aquellas operaciones en la planta para las cuales el método no ha sido nunca diseñado formalmente por un ingeniero, aunque para ello la gerencia requiere tiempos estándar. Por consiguiente, debido a la necesidad ocasional de volver a medir las operaciones diseñadas formalmente, y a que la gerencia desea disponer de tiempos estándar para todas las operaciones, a los cuales les da una gran importancia, la mayoría de las compañías cuentan con un departamento de estudio de tiempos, creado con el único propósito de establecer los tiempos estándar para las operaciones de manufactura de la compañía; el proceso de medición que este departamento realiza, se conoce como estudio de tiempos, y no obstante que el término medición de trabajo es inapropiado, adquiere cada día más popularidad.

A quienes no estén familiarizados con esta especialidad, les causará sorpresa pensar que lo que parece algo tan rutinario, consistente sólo en observar el reloj y escribir las lecturas, sea en realidad un asunto tan explosivo, problemático, y que origine tantas controversias; y realmente, ha llegado a ser el origen de una cantidad casi increíble de fricción entre los obreros y la gerencia.

Uno de los muchos factores que disipan toda característica rutinaria a este proceso, es el hecho de que el fenómeno que se mide se ve afectado considerablemente por el mismo acto de medirlo; ya que el proceso de realizar un estudio de tiempos es comparable a un policía que observa a

un grupo de muchachos traviesos; su sola presencia origina automáticamente un cambio en el comportamiento del grupo.

Otro factor que complica .el asunto es el hecho de que, en general, una vez que se establece ef estándar, éste ne puede reducirse arbitraria->mente, aun cuando la compañía se da cuenta de que los tiempos son muy liberales, pues existe una clá,uSuiaemi|y. -estricta en-la mayoría de los contratos tíbrero-patronales, por la púfetle reducir el tiempo estándar *únicamente* si se efectúa un--catriblo considerable en la operación en sí, o si se cometió un error de oficiñá al determinar el estándar.

Algo que indica su naturaleza vivida y originaria dé controversias, es el interés vital que tienen los sindicatos en el procedimiento seguido, en los resultados obtenidos en el estudio de tiempos; de hecho, algunos sindicatos disponen de departamentos especiales creados para aconsejar y establecer las normas en relación a los estudios de tiempos; además, frecuentemente los sindicatos cuentan con un personal especializado, a cuyos integrantes se les llama mayordomos de estudios de tiempos, y quienes se encuentran en la planta con el fin de proteger los derechos de los trabajadores, protestar y pactar cuando se trata de asuntos relacionados con los tiempos estándar.

Esta es una especialidad con una fascinante historia, caracterizada en los Estados Unidos por una investigación efectuada por el Congreso, en los períodos en que estaban de moda los estudios secretos de tiempos, y en los que las gerencias disminuían a su completo arbitrio los estándares, por veintenas de costosas huelgas de brazos caídos, por miríadas de misteriosos sistemas y proyectos, veintenas de charlatanes que se decían peritos en la especialidad, etc.

Por consiguiente, detrás de los estudios de tiempos existe mucho más de lo que pudiera parecer a primera vista; los problemas que de ellos se originan son ciertamente numerosos, de gran trascendencia, y con frecuencia molestos; pero a pesar de su naturaleza problemática, los resultados d< proceso del estudio de tiempos son vitales para la gerencia.

No se debe subestimar el interés que las gerencias tienen para obtener una tasa elevada de producción, o la necesidad que tienen de disponer, de antemano, de las estimaciones de su productividad, todo ello para que se puedan planear adecuadamente las actividades y adquisiciones.

LA INFLUENCIA DEL METODO DE INCENTIVOS PARA EL PAGO DE SALARIOS

Debido a la influencia que tiene el método de incentivos para el pago de salarios sobre los estudios de tiempos, políticas y problemas, debemos desviar nuestra atención de ello por ahora, para posteriormente discutir este asunto con más detalle. Para poder entender los problemas concernientes al estudio de tiempos, es muy útil entender, primero, las demandas de un plan de incentivos, con relación al tipo y calidad de los tiempos

estándar necesarios, para así poder apreciar la magnitud y origen de las dificultades que surgen si estas demandas no se satisfacen.

Et principio del método de incentivos

Este principio implica establecer una rapidez estándar de trabajo, recompensando con dinero extra a los trabajadores que la superan; por ejemplo, la tasa estándar de producción para una operación, es de 5 unida-

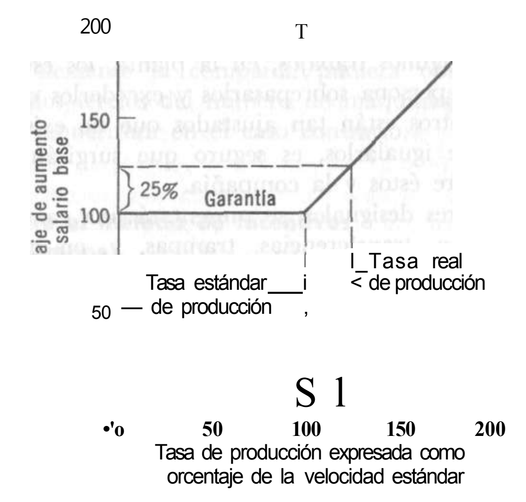


Figura 69. El principio del método dé incentivos ¡lustrado por el plan común de uno-a-uno. Si el trabajador mejora el estándar un 25 por ciento, obtiene un aumento de 25 por ciento en su salario por hora.

des por hora; si un operador produce 50 unidades en un día de 8 horas, su "salario base" se verá aumentado, en el tipo más común del plan, por el siguiente factor:

$$\frac{\text{producción real en el período: 50 unidades}}{\text{producción estándar para el período: (8 X 5) unidades}} = 1.25$$

Si se supone que su salario por hora es de 1.60 Dls., este operador recibirá 1.25 x 1-60 Dls., o 2.00 Dls. por hora, como resultado de haber mejorado el estándar en un 25 por ciento.

Ordinariamente, esta "bonificación" varía en proporción directa con el grado en el que se supera el estándar; éste se conoce como el acuerdo uno a uno, y bajo éste, un aumento de 25 por ciento sobre el estándar, trae como consecuencia un aumento de un 25 por ciento en la paga. En la figura 69 se muestra una representación gráfica del plan, debiendo notarse que éste tiene una garantía, ya que al empleado se le garantiza su salario base, ya sea que trabaje a la velocidad estándar, o a una velocidad menor.

El tipo de estándar conveniente para un plan de incentivos

La tasa estándar de producción, o su recíproco, tiempo por unidad producida, deben satisfacer ciertos requerimientos de exactitud, ya que son una determinante de importancia en la paga que recibe el trabajador. A continuación se citan algunas de las características de estos conceptos:

1. Los estándares para operaciones diferentes, deben ofrecer aproximadamente la misma oportunidad de aumentar el dinero ganado; esto es, deben ser *consistentes* entre ellos, respecto a la oportunidad para obtener incentivos. Si para algunos trabajos, en la planta, los estándares son tales que permiten a una persona sobrepasarlos y excederlos considerablemente, mientras que para otros están tan ajustados que no existe siquiera el incentivo de tratar de igualarlos, es seguro que surgirán problemas entre los empleados, y entre éstos y la compañía.

Bajo tales estándares desiguales, se presentará una cantidad increíble de insatisfacción, fricción, transferencias, trampas, y, en general, relaciones laborales deficientes, lo que redundará en un *costo considerable* para la compañía.

2. Las tasas de producción que representen los estándares para una compañía, no deben ser tan bajas (flojas) que se requiera muy poco esfuerzo de parte de los trabajadores, para igualar o sobrepasar esos estándares; y que en consecuencia, sea muy poco, o nulo, el aumento que se logre en la productividad, a cambio del salario extra que se paga. Por otra parte, los estándares no deben ser tan altos (ajustados) como para que los trabajadores sientan que el esfuerzo extra que se requiere para satisfacerlos es excesivo, y consecuentemente disminuyan su productividad en el trabajo, cobren su garantía, y frustren así todo el propósito del plan de incentivos.

Una investigación de la práctica seguida actualmente, indica que ios estándares generalmente se establecen en tal forma que permiten al trabajador promedio excederlos en un 30 por ciento. (Esta cifra de 30 por ciento "surgió" a través de los años, y no es el resultado de ninguna decisión formal, ni es necesariamente óptima).

No es difícil satisfacer el segundo requerimiento, ya que parece existir un amplio límite de niveles de ejecución que son razonables y, aparentemente, satisfactorios; sin embargo, esto no es cierto para el primer requerimiento, puesto que los trabajadores son muy sensitivos a las inconsistencias; ya que fácilmente detectan las diferencias entre los estándares para trabajos diferentes, y también se muestran fácilmente insatisfechos con esta situación, siendo difícil pacificarlos, ya que sus salarios van en juego. Por consiguiente, deberá procurarse que los estándares de tiempo sean consistentes en el mayor grado posible, pues de lo contrario las consecuencias serían costosas. No obstante que la consistencia es una característica

crítica en un grupo de tiempos estándar, no es la única, aunque sí resulta muy difícil de lograr en la práctica. Infortunadamente, los métodos para establecer estándares de que se dispone en la actualidad, no producen resultados lo suficientemente consistentes.

A pesar de esto, los planes de incentivos se usan ampliamente en la industria, especialmente en las compañías grandes y de tamaño medio. El fin primordial de emplear este método de pago, es el obtener una productividad mayor, y por lo mismo, una utilización más eficiente de las instalaciones disponibles. Si el plan de incentivos pudiera inducir a los trabajadores a producir un 50 por ciento más de lo que producen bajo el método de pago directo (producir 150 unidades en vez de 100 unidades por hora), probablemente la compañía pudiera obtener la producción deseada con sólo dos tercios del número de máquinas y del espacio necesario, etc., que se requerirían en el caso contrario.

La interacción entre el método de incentivos y el estudio de tiempos

El grado en que el método de incentivos ejerce su influencia sobre la teoría y la práctica del estudio de tiempos, se ilustra por el hecho de que el tipo de tiempo estimado que ordinariamente se obtiene del estudio de tiempos, llamado tiempo estándar, y el nivel de desempeño que este estándar representa, son intentos claros de satisfacer los requerimientos impuestos por el método de incentivos; en otras palabras, se realizan todos los esfuerzos para obtener un estándar que sea el más adecuado para el método de incentivos, como si el estándar se usase únicamente con esc fin, lo cual, desde luego, no es cierto.

Pronto se hará evidente que el método de incentivos afecta el estudio de tiempos en muchas otras formas; por ejemplo, el hecho de que la gerencia generalmente no puede ajustar un estándar una vez establecido, aun cuando se haya cometido un error al establecerlo, se puede relacionar con el uso que el método de incentivos hace de los estándares. Lo mismo ocurre en cuanto al cambio pronunciado que se efectúa en el desempeño de un operador cuando se le hace un estudio de tiempos y en cuanto a las numerosas cláusulas restrictivas que aparecen en los contratos obrero-patronales, concernientes a las especificaciones del procedimiento de estudio de tiempos; también, la influencia de este método cíe incentivos se hace patente, por las severas presiones encontradas y a las que suele someterse al técnico en estudio de tiempos: la gerencia, por un lado, pidiéndole un costo menor de mano de obra y el sindicato, por el otro, pidiendo aumento de salarios; y también por otros muchos procedimientos y circunstancias que se encuentran en la práctica del estudio de tiempos. De hecho, la filosofía general dentro del campo del estudio de tiempos se ve fuertemente influida por el método de incentivos, tal y como se hace evidente en gran parte de la literatura sobre esta especialidad.

También es cierto, que debido a sus imperfecciones, el estudio de tiempos afecta considerablemente la operación de un plan de incentivos; y algunas de las dificultades mayores que se originan con el uso de tal plan, se deben a las inconsistencias de los tiempos estándar, sobre los cuales está basado.

EL CONCEPTO DE UN TIEMPO ESTANDAR PARA UNA OPERACION

En términos cuantitativos, un estándar de medición es el denominador (la base) de la expresión para un fenómeno o característica; ejemplos de estándares comunes, son la yarda, el segundo, el grado y la libra.

Como cualquier estándar, la unidad de medición es *arbitraria:* sus únicos requerimientos son que sea *aceptada* por aquellos que la usan, y que sea *comunicable.* Podríamos expresar satisfactoriamente la distancia, en términos de la longitud de la cola de cierto elefante, siempre y cuando las personas afectadas supieran lo que esto significaría; por consiguiente, un estándar no necesita ser universal, únicamente debe aceptarse por aquellas personas que lo utilicen; estas personas podrían ser únicamente dos individuos, o, como veremos posteriormente, podría ser el personal de cierta planta o compañía.

El tiempo estándar de ejecución de una operación

Resultará útil expresar, desde un principio, y desde varios puntos de vista, el concepto de tiempo estándar de ejecución, en "términos profanos". Uno de tales puntos de vista, utiliza la noción de un trabajador especial e hipotético, que realiza todas las operaciones de la planta a la misma *velocidad* de trabajo. Para fines de medición, pudiera confiarse siem¡""i en que él desempeñaría las operaciones que se le soliciten, a la misma velocidad de movimientos; entonces, el tiempo estándar para cualquier operación, sería el tiempo requerido por este operador para ejecutar el ciclo de trabajo en cuestión; sería el tiempo necesario para completar esa operación, cuando se ejecuta a una *velocidad* de trabajo que es común a todos los otros tiempos estánda. de operación de la planta.

El segundo punto de vista, emplea un instrumento hipotético llamado "medidor estándar de minutos", con el cual se supone que el tiempo estándar de una operación puede medirse directamente.

Este medidor hipotético proporciona el tiempo que se emplea para completar una operación determinada, *como si* fuera ejecutada a la *velocidad* estándar de trabajo, independientemente de cuál sea la velocidad a la que realmente trabajó el operador en observación; el operador puede trabajar muy aprisa, muy despacio, o a cualquier velocidad intermedia, pero el medidor ignora esto y siempre lee lo mismo para esa operación, siempre y cuando *el método permanezca el mismo.* Independientemente de

la rapidez de ejecución realmente observada, este medidor reduce automáticamente el tiempo real a minutos estándar, el tiempo observado se convierte en un tiempo que representa un cierto nivel de ejecución, uniforme para todos los tiempos estándar de operaciones en la planta.

A partir de aquí, por desempeño normal, entenderemos la rapidez de ejecución del trabajo, con base en los tiempos estándar de la compañía. Existen muchas ideas equivocadas con respecto a la naturaleza del desempeño normal; por consiguiente, conviene insistir en que:

1. La velocidad de trabajo particular, que una compañía persigue como desempeño normal, es un concepto de naturaleza arbitraria; ya que ni tiene justificación científica, ni es asunto de magia.
2. La velocidad de trabajo que se selecciona generalmente puede ser excedida por la mayoría de los trabajadores sin un esfuerzo extraordinario.
3. El desempeño normal no es:
   a. La velocidad óptima de trabajo.
   b. Un nivel promedio del desempeño de un departamento, planta, industria o nación, pues no se obtiene de ninguna población específica de trabajadores.
   c. No universal, es un asunto "local" que compete a una compañía o a una planta. Existe una diferencia substancial entre lo que diferentes compañías denominan desempeño normal; por ejemplo, en una compañía se designa como desempeño normal, caminar a una velocidad de 88 metros por minuto; en otras, esta velocidad va desde 94 hasta 112 metros por minuto. Estas diferencias existen y permanecerán, pero, contrariamente a lo que algunos creen, ésta es una situación por la que no hay que preocuparse.
   d. Lo que algunos inocentemente llaman "velocidad justa de trabajo", es un concepto que aparentemente se deriva de la noción de un "día justo de trabajo", ya que es un concepto impráctico, en tanto que la velocidad de trabajo y el salario por hora se Consideren como dos cosas separadas, y de hecho, aun cuando éstas se consideren simultáneamente, el asunto relacionado con su combinación justa, es más bien elusivo.

Además del concepto de una cierta velocidad de trabajo arbitraria llamada desempeño normal, la definición comúnmente aceptada del tiempo estándar de una operación, reconoce que, a largo plazo, nadie puede ejecutar repetidamente una operación sin encontrar algunos retrasos y factores de tardanza, y que algunos de éstos son imposibles de evitar en cuanto al operador se refiere, y deberán, por lo tanto, tomarse en consideración dentro de un estándar, si éste ha de ser práctico; por lo anterior, el tiempo estándar de una operación deberá definirse como:

El tiempo necesario para completar un ciclo de una operación, cuando ésta se ejecuta con *cierto método* y a *cierta* velocidad de trabajo *arbitraria,* la cual incluya estipulaciones por retrasos que estén fuera del control del operador.

Este tiempo se expresa frecuentemente por unidad terminada; y será diferente del tiempo por ciclo, cuando se complete más de una unidad durante ese período. Deberá notarse que éste es un estándar que se aplica entro de una planta, y no se espera que pueda transferirse a situaciones dentro de otras plantas, y mucho menos, que sea universal.

Métodos generales para medir el tiempo estándar de una operación

Desgraciadamente, no existe tal "medidor estándar de minutos" ni ningún equivalente satisfactorio; en su lugar, los siguientes métodos se usan en la práctica para estimar el tiempo estándar de una operación.

1. *Deducción de experiencias anteriores.* Basándose en la memoria o registros de las experiencias de producción anteriores, para la misma operación u operaciones similares.
2. *Observación y medición directas.* Esto requiere observar directamente la operación al ser ejecutada, y medir adecuadamente esa ejecución. Se acostumbra usar dos métodos básicamente diferentes de observación directa:
   a. Estudio de tiempos de parar y observar.
   b. Muestreo del trabajo.
3. *Síntesis.* Por medio del uso de tablas especialmente obtenidas de gráficas y fórmulas, es posible "construir" y sintetizar los tiempos estándar de una operación, sin necesidad de efectuar las mediciones directas, ni de observar las operaciones. Dos son los métodos sintéticos para establecer tiempos estándar que se usan actualmente:
   a. Datos estándar.
   b. Tiempos previamente determinados.

I.o que resta de la parte IV se dedica a describir más detenidamente estos métodos para establecer los tiempos estándar.

Determinación de tiempos estándar con base en experiencias de producciones anteriores

Este método para establecer tiempos estándar, se puede llevar a cc^o de muchas maneras diferentes, de las cuales se describirán tres, a continuación :

1. Extraer directamente de los registros de la compañía las velocidades de producción pasadas.

2. Usar los datos de producción como en 1, pero ajustados adecuadamente respecto a desempeños no normales, métodos no representativos, y otras condiciones que caractericen a los datos.

3. Hacer una estimación directa, basándose en la experiencia que en tales asuntos tenga quien determine los tiempos estándar.

La primera de estas alternativas, trae consigo una referencia directa a los registros de producción, con el fin de determinar la cantidad de tiempo que se *ha* requerido para completar la operación en cuestión, o una similar; por ejemplo, un trabajo *X* se ha efectuado tres veces en el pasado, con los resultados siguientes:

Fecha	Unidades terminadas	lloras requeridas
Enero 5	50	9.2
Febrero 16	100	16.6
Abril 7	100	15.7

$$\frac{41.5 \text{ horas}}{250 \text{ unidades}} = \text{promedio de } 0.17 \text{ horas/unidad}$$

De acuerdo con estos datos, el "estándar" para este trabajo sería de 0.17 horas/unidad; nótese, sin embargo, que si para determinar el estándar se usan los datos de producción directamente, sin ajustes, ese estándar sería simplemente lo que "ha sido", y por consiguiente, permitiría a los trabajadores determinar la base con la que serán evaluados. Tal estándar sería apropiado para fines de planeación, mas no para evaluación, particularmente si se usa como base para el pago de salarios. Una compañía que usara "estándares" de esta naturaleza para fijar un plan de incentivos, iría rápidamente a la bancarrota.

La segunda alternativa es una ampliación de la primera, con la diferencia de que las 0.17 horas/unidad se ajustan basándose en el criterio del observador. El objetivo de este proceso de corrección, es el de hacer que este tiempo sea representativo del desempeño normal, y de las condiciones y métodos actuales. Es muy posible, y de hecho muy probable, que el nivel de desempeño representado en los datos de producción, no sea el normal y por consiguiente, es necesario hacer una corrección. Similarmente, es necesario hacer un ajuste debido a que durante el período que cubren los datos de producción usados, pudieron haberse efectuado cambios en los métodos y condiciones.

Esta producción "corregida", es preferible a la producción que se obtiene directamente con la primera alternativa. En la tercera alternativa, el especialista se basa para hacer su estimación en la experiencia obtenida con producciones anteriores del trabajo en cuestión, o de trabajos similares, y en los tiempos estándar que ya están establecidos para operaciones parecidas; con la ayuda de esta información, y basándose en su criterio, el especialista establece el estándar para ese trabajo.

Es sorprendente la habilidad que una persona adquiere después de varios años de práctica para establecer estándares basándose simplemente en su criterio; pero los escritores sobre esta materia, han condenado injustamente este método, al grado de que virtualmente no lo toman en consideración.

Como se verá posteriormente, en la mayoría de los procedimientos de estudio de tiempos, es común que el especialista decida de antemano, y con base en su criterio únicamente, cuál será el estándar; procediendo después a efectuar el estudio de tiempos, en forma tal que su conclusión previa se vea satisfecha; si éste es el caso, ¿por qué no confiar simplemente en el juicio original? Posiblemente existen razones suficiente^

para no proceder así, pero la realidad es que el criterio *se usa* extensamente, y además sin cometer un error tan grande como lo suponen algunos libros de texto y < oecialistas.

El bajo costo y la velocidad, son características obvias del método para establecer tiempos estándar, con base en experiencias pasadas; sin embargo, este método adolece de varias desventajas dignas de tomarse en cuenta. Una es la posibilidad de que los operadores puedan, parcial o completamente, controlar los estándares con los que serán juzgados, lo cual es altamente probable en la primera de las alternativas mencionadas; además, y debido a que esta estimación se basa en datos que representan un período *prolongado* de experiencia *pasada,* es posible que en este lapso se hayan efectuado cambios en el método, personal, condiciones de los negocios, materiales, calidad, etc., de los cuales no se percata el especialista, y que hacen que la estimación no represente las condiciones actuales de operación. De hecho, es probable que existan algunas incógnitas con respecto a las condiciones existentes durante ese período tales como el nivel del empeño mostrado por los empleados, métodos usados, etc., en tal forma que no se sabe con certeza lo que el estándar representa.

No obstante que existen métodos más exactos para establecer los tiempos estándar, probablemente este método no es tan malo como se supone; tiene la enorme ventaja de la rapidez y el bajo costo con los que se puede establecer el estándar. Este sería definitivamente un método competitivo, en aquellos casos en que no se demanda mucha exactitud y precisión de los estándares, como en trabajos de poca duración y bajo volumen, y especialmente si los estándares no se usaran para establecer planes de incentivos. Bajo la mayoría de las circunstancias, sin embargo, este método es el que, a largo plazo, permite establecer los tiempos estándar a un costo mínimo.

Estudio de tiempos por el método de parar y observar: Introducción

Para realizar un estudio de tiempos por el método de parar y observar, se requiere ir al lugar de trabajo, y medir, con un cronómetro, el tiempo empleado en la operación que un trabajador ejecuta, de preferencia durante un cierto número de repeticiones consecutivas (ciclos). Ordinariamente, el período de tiempo en que se realiza este estudio, es relativamente corto, soliendo ser menor de una hora; esto es contrario a lo que ocurre en el muestreo de trabajo que implica hacer observaciones intermitentes a lo largo de un/prolongado período de tiempo, quizás de semanas o meses.

La necesidad de un medio de calificación

Al efectuar el estudio de tiempos por el método de parar y observar, para una operación dada, el observador se enfrentará, por lo general, con un problema práctico, debido a que es casi seguro que compruebe que el operador no trabaja a la velocidad normal de ejecución deseable; cosa que no es de extrañar, ya que entre los trabajadores existe un límite muy amplio de diferencias individuales en cuanto a la habilidad, así que, por razones naturales, no es de esperarse encontrar muchos operadores que trabajen a una velocidad normal. Más importante quizá, es el hecho de que la mayoría de los trabajadores reconocen lo conveniente que resulta para ellos, alterar intencionalmente su desempeño mientras se lleva a cabo el estudio de tiempos; también la mayoría de los trabajadores tienden a usar un método diferente al establecido para ese trabajo, y a trabajar a una velocidad menor. El objetivo de todo esto es el de obtener un tiempo

estándar liberal; ¿cómo, entonces, puede el observador obtener el tiempo estándar, si es muy pequeña la probabilidad de poder medir un trabajo que se ejecute a la velocidad normal? Entre las diferentes respuestas posibles, citaremos las siguientes, aun cuando es difícil encontrar una que sea satisfactoria. Por ejemplo:

1. La persona encargada de medir los tiempos puede realizar la operación a la velocidad normal, y simultáneamente medir el tiempo de ejecución; sin embargo, esta posibilidad se elimina automáticamente, si se torna en consideración el hecho de que el observador carece de la habilidad necesaria para ejecutar todas las operaciones para las cuales debe establecer tiempos estándar, además ele la oposición inevitable del sindicato.
2. El observador puede medir la operación a medida que ésta es ejecutada por un operador especial al que podría llamarse "demostrador", y quien tendría la habilidad necesaria para realizar la operación a la velocidad normal; sin embargo, es obvio el resultado que esto produciría en el ánimo de los demás trabajadores y en el sindicato.
3. El observador puede aceptar y casi siempre se ve obligado a ello, el nivel de ejecución al que (-l operador trabaja; después, basado en su criterio, estima la relación entre la velocidad de trabajo observada, y la velocidad normal, para ajustar posteriormente, de acuerdo con esta relación, el tiempo que se registró. Este proceso de ajuste se conoce ordinariamente con el nombre de calificación.

Naturaleza de la calificación en el estudio de tiempos

Específicamente, la calificación requiere:

1. Que el observador visualice mentalmente cual es la velocidad normal para el trabajo en cuestión.
2. Que posteriormente estime la relación entre la velocidad observada y su imagen mental de la velocidad normal.

Supongamos, por ejemplo, que se observan cinco ciclos de una operación y que los tiempos correspondientes son 0.68, 0.73, 0.76, 0.69 y 0.64 minutos, con un tiempo promedio de 0.70 minutos.

Durante el mismo período, se califica el desempeño del operador, juzgándose que trabaja a un 90 por ciento de la velocidad normal de ejecución lo cual significa que el factor de calificación es:

$$\frac{\text{velocidad de trabajo observada}}{\text{velocidad de trabajo normal}} = \frac{0.90}{1.00} = \text{^ ^}$$

y el tiempo corregido es, 0.70 X 0.90 = 0.63 minutos. Nótese que este c^ un proceso de reducción, donde el tiempo observado se reduce a minutos normales, al efectuarlo por el factor de calificación.

AI calificar, la velocidad normal se designa como 100 por ciento, o la unidad, y la velocidad real se juzga de acuerdo con esto.

Es evidente que no existe una "velocidad normal de trabajo" que sea objetiva y que se pueda comunicar con facilidad; siendo, desafortunadamente, necesario que el observador pueda visualizar, basándose en su criterio, aquello que constituye el paso normal de trabajo para la operación considerada, también es necesario que, basándose en su criterio, transforme en una relación numérica, a la diferencia entre la velocidad observada y la normal; este no es un criterio sin base, sino que requiere de continuos esfuerzos para desarrollar y mantener la habilidad del observador para calificar lo mejor posible; pero aun con estos esfuerzos, el procedimiento deja mucho que desear. En el capítulo 14 se discute lo concerniente a la calificación y los temas que con ella se relacionan.

Tolerancias

El tiempo que se derivó en la sección anterior es aplicable únicamente a los períodos normales de trabajo. Pero ¿qué pasa con aquellos períodos en los que el operador no puede trabajar, debido a cosas tales como fallas del equipo, suspensión del flujo de materiales, piezas defectuosas, necesidades personales, efectos de la fatiga, etc? Debido a que esto, ordinariamente, está fuera del control del operador, es necesario tomar en consideración en el tiempo estándar a tales factores, ya que inevitablemente originan retrasos; cuando menos, en el caso de que se use un plan de incentivos. Debido a que *él* período de observación en un estudio de tiempos por el método de tíarar y observar es muy corto, de tal manera que la muestra incluye pocos, o ninguno, de los r umerosos retrasos con los que un trabajador se enfrenta a lo largo del día, el tiempo de observación que basta para los ciclos ordinarios no ts suficiente como un período de muestra que incluya los retrasos; por consiguiente, será necesario dar un ligero incremento al tiempo calificado, para así incluir en el tiempo estándar los efectos de los factores mencionados anteriormente. Este tipo de ajustes se conoce con el nombre de tolerancia, y su magnitud para una clase dada de operaciones, se determina por medio de un estudio especial de mayor duración y menor frecuencia, que el del estudio de tiempos por el método de parar y observar.

Fórmula general para estimar el tiempo estándar obtenido por medio del estudio de tiempos de parar y observar

Regresemos al ejemplo anterior, y supongamos que la tolerancia por concepto de retrasos y fatiga es de 0.10 minutos, luego, el tiempo estándar es:

$$[0.70 \times 0.90]\ 4\text{-}\ 0.10 = \text{tiempo estándar por pieza}$$
$$0.63 + 0.10 = 0.73 \text{ minutos por pieza}$$

En términos generales:

tiempo estándar = [tiempo observado representativo X factor de calificación] + tolerancia por retrasos y fatiga

= tiempo normal + tolerancia

A partir de aquí, el tiempo calificado, es decir, el término que aparece entre paréntesis en la fórmula general (la cifra 0.63 previamente calculada), será designado como tiempo normal; esto es, el tiempo normal de una operación, es el tiempo que se emplearía para completar un ciclo de la misma, si se ejecutara a la velocidad normal de trabajo. Entonces, deberá tenerse presente que, durante el cálculo del tiempo estándar, al tiempo registrado para una operación se le hacen los ajustes por separado y básicamente diferentes, el primero, se hace con la intención de corregir la falta de normalidad de la velocidad observada del trabajo, y su magnitud depende del proceso de calificación. El objetivo del segundo ajuste, es el de tomar en consideración los factores de retraso y fatiga imposibles de medir en un estudio de tiempos por el método de parar y observar; su magnitud se determina por medio de ciertos estudios de larga duración. A pesar de que los dos ajustes son fundamentalmente diferentes, los dos deberán aplicarse, porque, por lo general, el tiempo medido no es representativo de la velocidad del trabajo, ni de las consecuencias de los retrasos y fatigas.

Procedimiento general del estudio de tiempos de parar y observar

El procedimiento general para un estudio de tiempos de parar y observar, es el siguiente:

1. Pasos preliminares.
   a. Ponerse en contacto con las personas involucradas en el estudio de tiempos, tales como el supervisor o capataz y el operador.
   b. Verificar si método, equipo, calidad y condiciones, corresponden a las especificaciones establecidas. Buscar y remediar las "ineficiencias'.
   c. Registrar toda la información concerniente a la operación, operador, producto, método, equipo, calidad y condiciones.
   d. Desglosar el ciclo de trabajo, en sus distintos elementos.
2. Recolectar los datos que se obtienen al medir los tiempos y al calificar al operador.
3. Procesar los datos.
   a. Calcular el tiempo representativo, resultante de la medición.
   b. Aplicar el factor de calificación.
   c. Aplicar la tolerancia.
4. Presentar los resultados.

Los "pasos preliminares", se discuten en lo que resta del capítulo, y en los subsecuentes, se tratará lo relacionado a "recopilación de datos", "procesado de datos", y "presentación de resultados".

ESTUDIO DE TIEMPOS DE PARAR Y OBSERVAR: PASOS PRELIMINARES

Aquí se describirá la forma en que el observador se prepara para medir la operación, fase que se inicia una vez que se obtuvo el consentimiento del supervisor, para efectuar el estudio, su aprobación del método, materiales, etc.; y después, explicar al operador(es) todo lo relacionado con el trabajo en cuestión.

Verificar el método, equipo, calidad y condiciones. Deben verificarse el procedimiento, distribución, equipo, calidad y condiciones, de los materiales que entran y salen, para asegurarse de que satisfacen las especificaciones; además, el método debe analizarse para cerciorarse de que no existen deficiencias; particularmente, cuando no haya sido especificado, deben implantarse todas las mejoras económicamente justificables, antes de establecer los tiempos estándar. Todo lo anterior es muy importante, pues, *si se establecen tiempos estándar para las operaciones, sin antes intentar hacer todas las mejoras posibles, es altamente probable que el resultado sean tiempos estándar flojos, injustos y problemáticos,* especialmente, bajo un plan de incentivos. La explicación es muy simple: si se establece un tiempo estándar para un método inferior, el cual es susceptible de mejoras que el operador pueda fácilmente hacer, entonces, él los *hará después* de establecido el estándar. En esta forma, él está en una posición de "aflojar" el tiempo estándar, y de utilizar los ahorros en tiempo de ejecución resultantes, para su beneficio económico, en el caso de un plan de incentivos; desde luego, no existe ninguna objeción a que el operador haga mejoras al método; lo objetable<es que estas mejoras se usen para "batir" al plan de incentivos, pues esto conduciría a una estructura injusta de salarios. Lo que se prefiere en la práctica, es, *primeramente,* hacer todas las mejoras que se puedan concebir y que sean económicamente justificadas, y *después* establecer el tiempo estándar. (Bajo un sistema de sugestiones de los empleados, todas las mejoras valiosas que éstos conciban, después de establecido el estándar, se les deberán solicitar y pagar.) Una de las causas principales de que falle un plan de incentivos es precisamente establecer los tiempos estándar basándose en un método "inferior" de trabajo.

Registrar la información. Esto es algo rutinario, que consiste en identificar la operación, el operador y el producto estudiados, y en registrar a método, equipo, calidad y las condiciones existentes al efectuar el estudio, Para después basar en ellas las determinaciones del *tiempo estándar.* Nótese que el tiempo estándar para una operación, corresponde solamente a un método determinado; es decir, son inseparables. Sin embargo, con frecuencia sucede que un tiempo estándar permanece en los registros y se usa

durante períodos prolongados, mientras que en ese intervalo, el método cambió progresivamente, de tal manera que el estándar es obsoleto y no representativo del método actual. Por consiguiente, deberán hacerse todos los esfuerzos posibles para mantener al día los estándares. Existe otra necesidad que es un corolario de la anterior, y esta es que el trabajador y el sindicato deben enterarse de que *ha habido* un cambio en el método, cuando la compañía desea ajustar el estándar para ponerlo al día con relación a aquél. Estos dos factores; el deseo de poder reconocer cuando el método ha cambiado y tener que probar que éste ha sido un cambio legítimo, requieren que exista un registro del método sobre el cual se basó originalmente el estándar.

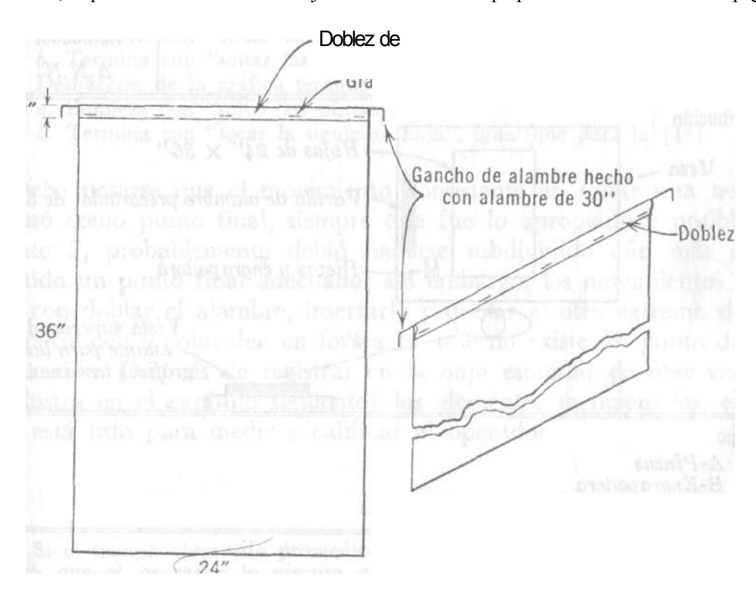
Desglosar el ciclo de trabajo en sus diferentes elementos. Es una práctica común subdividir el ciclo de trabajo en fases de actividad moderadamente cortas, llamadas elementos, y registrar el tiempo para cada uno de ellos, en lugar de registrar el tiempo para todo el ciclo. Esto se hace, en primer lugar, con el fin de facilitar la comparación entre los elementos similares de estudios de tiempos para trabajos diferentes, y poder, si es deseable, calificar separadamente las diferentes fases del trabajo; en segundo lugar, para permitir el desarrollo posterior de datos estándar. Existen ocasiones en que la medición se hace por elementos, lo que resulta más apartado de la tradición, que de la utilidad. Cuando un estudio elemental *es* lo indicado, los elementos deben ser tan cortos, como la medición y el registro lo permitan, pudiendo observarse que la magnitud del tiempo mínimo elemental, dependerá de la habilidad del observado^-, del método de medición y registro, del contenido del elemento, y de otros factores. Generalmente, un observador medio, deberá registrar, sin error, un elemento de 2.5 segundos, empleando para ello un cronómetro, una tabla, sujeta papel, hojas de observación y el método "continuo" de medición. Sin embargo, esto no debe esperarse para una sucesión de elementos de ese tamaño. Desde luego, se pueden utilizar métodos de medición y equipos especiales, en aquellas situaciones en que el tamaño de los elementos así lo requiera.

Al seleccionar los elementos, las porciones de la operación estudiada, que son controladas manualmente (cuando la velocidad de trabajo queda definida por el operador), deben separarse de aquellas porciones que son controladas por el proceso (v. gr. alimentación automática a las máquinas, transportador de banda, etc.). Al seleccionar los puntos donde los elementos terminan (puntos finales), que son los puntos fijos en el ciclo del trabajo en que el tiempo se leerá y registrará, debe tenerse especial cuidado en escoger puntos perfectamente bien definidos, que permitan una medición exacta. Siempre que sea posible, se deberán usar señales auditivas en lugar de visuales para identificar tales puntos finales, tales como el sonido producido por el destornillador al ser depositado en el banco de trabajo, lo cual indicará que ha terminado el elemento "apretar tornillos con el destornillador"; o el ruido producido por la máquina misma, que

indique la iniciación y terminación del elemento "taladrar un orificio de 6.35 mm".

Un caso ilustrativo

En cierta planta manufacturera de muebles y artículos para oficina, se hará un estudio de tiempos para la operación de ensamblar formas para gráficas, que consisten en hojas blancas de papel de 24 X p'gs., con



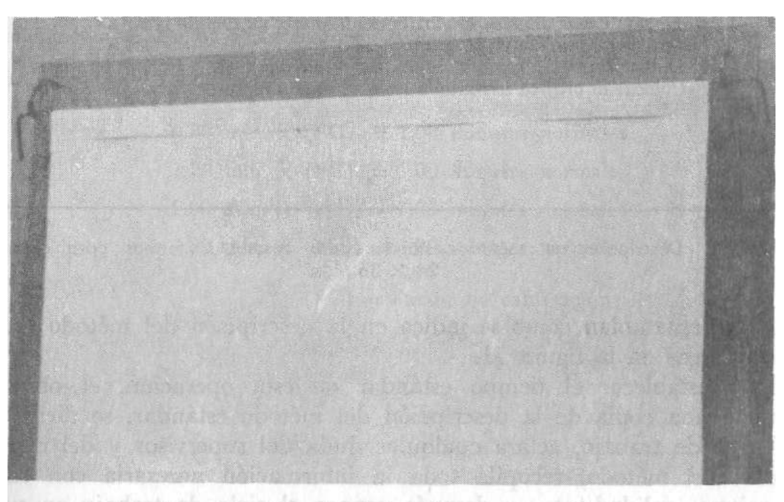
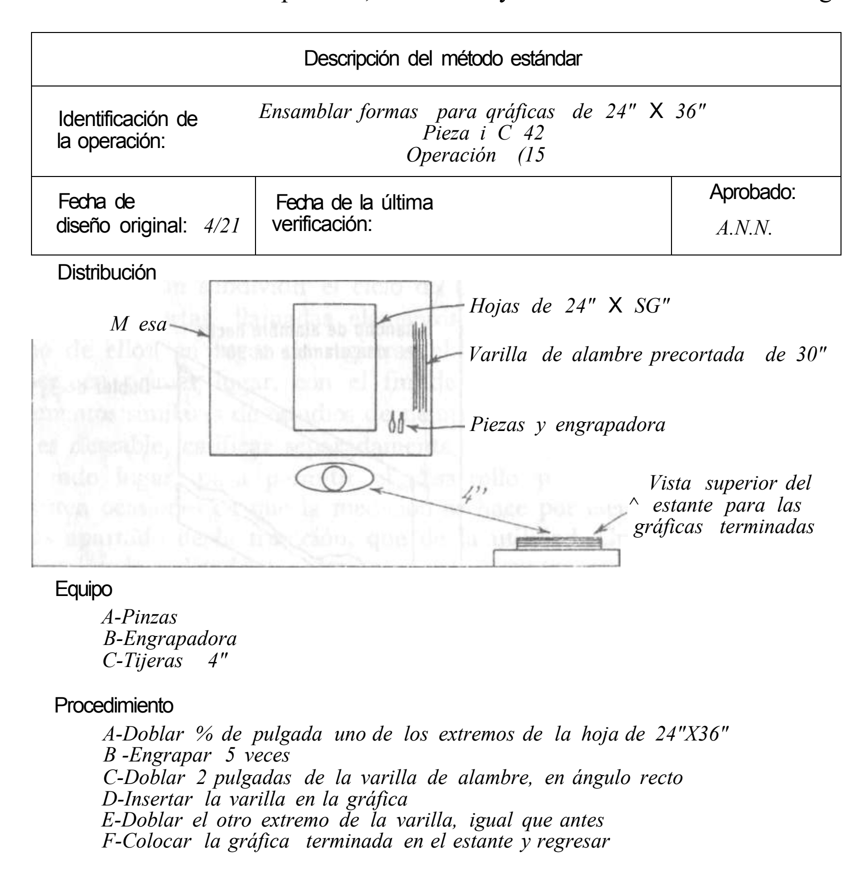


Figura 70. Detalles de las formas para gráficas.

conexiones especiales de alambre, y que se venderán junto con los caballetes para colocar las gráficas, que la compañía distribuye. Estas formas para gráficas que se fabrican en una variedad de tamaños estándar, o de acuerdo con órdenes especiales, lucen tal y como se ilustran en la figura



Descripción del método estándar		
Identificación de la operación:	*Ensamblar formas para qráficas de 24" X 36"* *Pieza i C 42* *Operación (15*	
Fecha de diseño original: *4/21*	Fecha de la última verificación:	Aprobado: *A.N.N.*

Distribución

Equipo

A-Pinzas
B-Engrapadora
C-Tijeras 4"

Procedimiento

A-Doblar % de pulgada uno de los extremos de la hoja de 24"X36"
B -Engrapar 5 veces
C-Doblar 2 pulgadas de la varilla de alambre, en ángulo recto
D-Insertar la varilla en la gráfica
E-Doblar el otro extremo de la varilla, igual que antes
F-Colocar la gráfica terminada en el estante y regresar

Figura 71. Descripción del método estándar para ensamblar formas para gráficas de 24 X 36 plgs.

70, y se ensamblan como se indica en la descripción del método estándar que aparece en la figura 71.

Para establecer el tiempo estándar de esta operación, el observador obtiene una copia de la descripción del método estándar, se dirige hacia el lugar de trabajo, aclara cualquier duda del supervisor y del operador, verifica el método, recopila toda la información necesaria con respecto al mismo, calidad, etc., y después, separa el ciclo de trabajo en sus ele-

mentos, para prepararse a efectuar la medición. En este caso, él separó el ciclo de operación en los siguientes elementos y con los puntos finales que se indican a continuación:

1. Doblar uno de los extremos de la hoja de 24 X 36 plgs.
   a. Empieza con "tocar la hoja".
   b. Termina con "sujetar la engrapadora".
2. Engrapar cinco veces.
   a. Empieza con sujetar la engrapadora".
   b. Termina con "soltar la engrapadora".
3. Doblar e insertar el alambre, doblar el otro extremo de la hoja.
   a. Empieza con "soltar la engrapadora".
   b. Termina con "soltar las pinzas".
4. Deshacerse de la gráfica terminada.
   a. Empieza con "soltar las pinzas".
   b. Termina con "tocar la siguiente hoja", igual que para la (I^a)-

Debe notarse que el movimiento consistente en soltar una herramienta se usó como punto final, siempre que fue lo apropiado y posible. El elemento 3, probablemente debió haberse subdividido aún más si hubiese existido un punto final adecuado; sin embargo, los movimientos relacionados con doblar el alambre, insertarlo y doblar el otro extremo de la hoja, se confunden y coinciden en forma tal que no existe un punto definido de separación. Después de registrar en la hoja estándar de observación (que se ilustra en el capítulo siguiente) los elementos mencionados, el observador está listo para medir y calificar al operador.

EJERCICIOS

1. Si el tiempo observado promedio para una operación es de 1.20 minutos, y se estima que el operador la ejecuta a un 90 por ciento de la velocidad normal, ¿cuál es el tiempo normal estimado para ese trabajo?

2. El tiempo normal para una cierta operación es de 1.0 minutos. Si el proceso de calificación se efectuara sin errores, ¿cuál sería el factor de calificación en cada una de las siguientes situaciones, si el tiempo observado promedio fuera el que se indica?

0.80 min. X (FC)I = 1.00 minutos normales

1.20 min. X $(FC)_2$ = 1.00 minutos normales

2.00 min. X $(FC)_3$ = 1.00 minutos normales

1.00 min. X (FC)í = 1.00 minutos normales

(FC) = Factor de calificación

14

Estudio de tiempos por el método de parar y observar: Medición de los tiempos y calificación del operador

Procedimiento para la medición de los tiempos

Son muchos los procedimientos convencionalmente aceptados que requieren de un reloj para la recopilación de los tiempos necesarios; asimismo, suelen ser numerosos los detalles que implican dichos procedimientos para el registro real de los datos no siendo raro que varíen radicalmente cíe una compañía a otra. El más difundido de los métodos que requieren el uso de un reloj para su aplicación, es el conocido como método continuo. En éste el reloj se pone en marcha al iniciar el estudio, y permanece así durante el transcurso del mismo, anotándose en el registro los tiempos totales acumulativos para cada uno de los puntos de separación o desglose de las distintas operaciones.

En las figuras 72 y 73 se ilustra la aplicación del método a la tarea de "ensamblar formas en blanco", ya citada en el capítulo precedente y, en la figura 72 se muestra la hoja de observación en el estudio de tiempos, en la que el observador registra los diversos tiempos, medidos por el procedimiento tratado en este capítulo. Los distintos elementos mostrados son los mencionados anteriormente y los puntos terminales de los mismos se muestran entre paréntesis. Los tiempos anotados en esta hoja se obtuvieron aplicando el método continuo, de acuerdo con el procedimiento mostrado en la figura 73, en la que puede apreciarse que el reloj se puso en marcha al iniciar el elemento 1, que es el instante en que el operador toca la hoja. Al final del elemento 1, que corresponde al instante en el

que el operador toca la engrapadora, el reloj marca 0.07 min; valor que se registró en el primer espacio "R" y en la columna correspondiente al primer ciclo. Al final del elemento 2, el que está definido por el instante

Hoja de observaciones para estudio de tiempo

la [6]Q pe radón *Ensamblar formas para gráficas de 24" X 36"* Fecha *10/9*

Hora inicial *.9:26* Operador: *109* Aprobado Observador *A.N.N.*

Hora final *0:32*

Descripción del elemento y punto de descomposición o separación			icios										Resumen			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	XT	T	RF	NT
1	Doblar extremo (sujetar engrapadora)	T	0.00 .07	.07	.05	.07	.09	Oh	.05	08	08	Oí				
		R	07	.6!	.14	.67	.24	.78	33	.88	.17	.09				
2	Engrapar 5 veces (dejar engrapadora)	T	.Ib		•14	.15	.16	H	.14	.n	M	15				
		R	.73	.75	?a	M	.<>0	M	17	.05	íl	21				
3	Doblar el alambre e insertarlo (dejar pinzas)	T	.22	.tt	.22	25	.23	23	.2!	ib	25	.21				
		R	45	00	50	2 07		3 .17	to»	3/	M	18				
4	Deshacerse de la gráfica terminada (tocar la siguiente hoja)	T	.09	.09	10	.08	.09	.1/	.12	OS	.17	.08				
		R	.51	.09	bO	.15	.72	.28	.80	.39	.03	5Í				
5		T														
		R														
6		T														
		R														
7		T														
		R														
8		T														
		R														
9		T														
		R														
10		T														
		R														

Tiempo normal del ciclo_ Tolerancia, Tiempo estándar.

Figura 72. Hoja de observación para el estudio de tiempos, aplicada a la operación de "ensamble de formas en blanco".

en que el operador suelta la engrapadora, el reloj marcó 0.23 min, valor que aparece registrado en el renglón *"R"* correspondiente al elemento 2, y en la columna correspondiente al primer ciclo. En esta forma se procede,

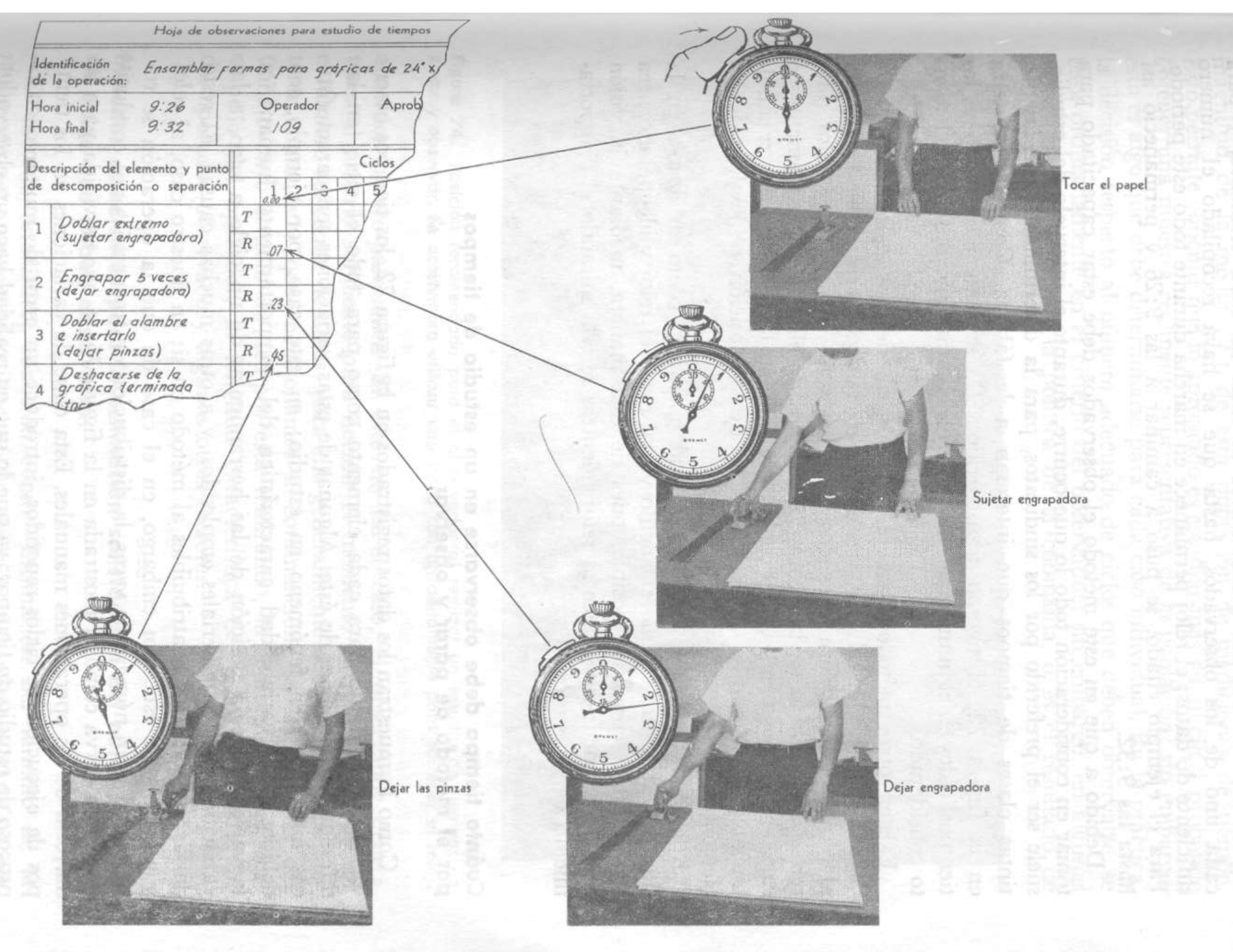


Figura 73. Ilustración del método continuo para medir el tiempo de operación del "ensamble de formas en blanco". El cronómetro se lee en centésimos de minuto.

registrando los tiempos acumulativos al final de cada elemento, y para cada uno de los observados, hasta que se haya recopilado el número suficiente de datos; el reloj permanece en marcha durante todo este período. Para el ejemplo citado, se puso a caminar a las 9:26 y permaneció asi hasta las 9:32.

Debido a que en este método el observador debe estar capacitado para tomar en consideración todo lo que ocurre, durante el intervalo del estudio, suele ser el preferido por los sindicatos, para la determinación de las distintas clases de tiempos que interesan a la fábrica. Como se muestra en la figura 72, el tiempo transcurrido *"T"* se obtiene restando a los tiempos leídos en el punto final, los leídos en el punto inicial, para el elemento considerado.

Existen otros métodos para la medición de tiempos, tales como el de "ajuste a cero", en el que, después de cada lectura el reloj se regresa al punto cero; asimismo, existen otros tipos de relojes, todos ellos diferentes al mostrado en la figura 73; algunos de ellos tienen aditamentos o características especiales, tales como el de eliminar la necesidad de ver simultáneamente al reloj y a los puntos de descomposición o desglose de los elementos.

El método correcto [jara observar al operador, como se ilustra en la figura 74, consiste en que el ángulo visual entre el reloj y el operador, sea tan pequeño como sea posible, pues de esta manera, mediante la visión periférica, puede observarse al reloj mientras se está mirando el comportamiento de! operador.

Cuánto tiempo debe observarse en un estudio de tiempos por el método de parar y observar

Como lo muestran los datos registrados en la figura 72, los tiempos observados varían, tanto para cada elemento como para todo el ciclo, en las diferentes repeticiones de éste. Algunas de estas variaciones son características intrínsecas del fenómeno en estudio; en este caso, por ejemplo, son debidas a la variabilidad característica del comportamiento humano, a la variación de la posición de las herramientas de un ciclo a otro, a las variaciones en los materiales empleados y a otras muchas causas. El resto de las variaciones son atribuibles al método en sí; en nuestro caso, al reloj y al lector de éste. Sin embargo, en el caso de que la operación se repitiese un gran número de veces, la distribución de frecuencias nos conduciría a una curva como la mostrada en la figura 75, la que es válida para la mayoría de las operaciones manuales. Esta clase de variaciones en los tiempos de ejecución de ciclos repetidos, introduce un error de muestreo en ci proceso de estudio de tiempos; ya que lo que en realidad hace un observador durante sus observaciones de estudio de tiempo de un operador, es extraer una muestra relativamente pequeña de *N* ciclos, a partir de toda la población; después, con base en esa muestra, hace inferencias respecto a I[a]

magnitud de la media *(T)* de esta población de mediciones de tiempo. Esto permite concluir que lo apropiado es estudiar más de un ciclo, probando obtener una muestra realmente representativa de la población; sin embargo, esto es algo que debe determinarse para cada caso individual. En la práctica, la decisión respecto al número adecuado de ciclos que deben observarse, se basa ordinariamente en el criterio del observador; sin embargo, en algunas ocasiones esto lo decide la política de la compañía, o es el resultado de

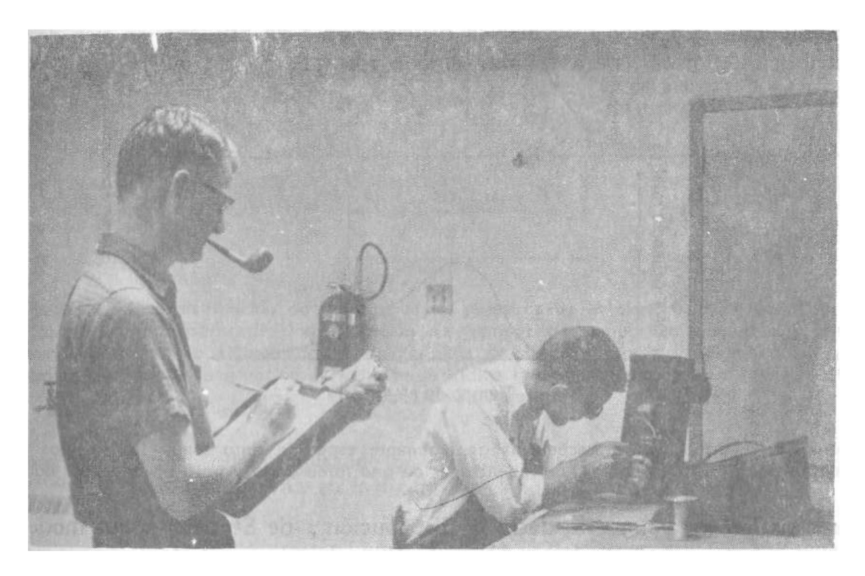


Figura 74. Posición recomendada para el observador al realizar un estudio de tiempos de parar y observar. Se acostumbra utilizar una tabla con un aditamento para sostener el reloj.

acuerdos obrero-patronales. Si éste no es el caso, el observador deberá tener el criterio suficiente para decidir el momento en que ha recopilado el número suficiente de datos; para ello generalmente deberá basarse en factores como éstos que mencionamos a continuación: la importancia del trabajo cuyo estudio de tiempos está realizando, la uniformidad del desempeño del operador, la longitud característica del ciclo, la reputación del operador observado y algunos otros factores.

Métodos estadísticos para la estimación satisfactoria del número ciclos que deben observarse

El método estadístico, conocido como "Estimación del tamaño de la ^uestra", es sumamente valioso en la elección del número satisfactorio e ciclos que deben ser observados.

.La teoría elemental del muestreo nos dice que si a partir de una pobla-Cl°n dada extraemos diversas muestras, todas ellas de tamaño *N* (con-

sistentes en N observaciones), las medias de esa diversidad de muestras tienen una distribución aproximadamente normal; si es que la población es semejante a la mostrada en la figura 75, que corresponde a los tiempos de ejecución, y si N es cuando menos igual a 4, en cuyo caso la desviación estándar vale $\sigma / \sqrt{N}$, en donde σ es la desviación estándar de la población de donde se extrae la muestra. En el caso de que no se conozca la desviación estándar de la población de partida o general, y que también deba determinarse a base de la muestra, entonces los métodos estadísticos recomiendan que debe utilizarse la distribución t de Student, en vez de la distribución normal, para señalar el comportamiento de la media de las

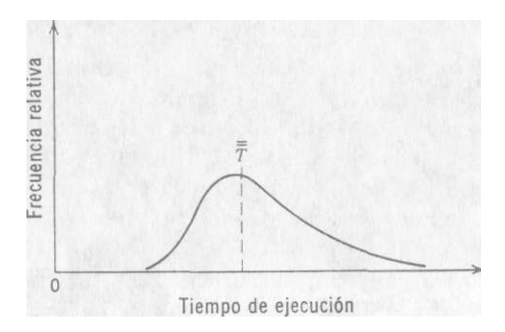


Figura 75. Distribución de frecuencias generalmente esperada para medir los tiempos de ejecución, para un gran número de repeticiones de una tarea dada y para un operador dado.

muestras. De esta manera, dada la distribución t de Student como modelo del comportamiento de las medias de las muestras, y dado un error de inuestreo tolerable, especificado en términos de un intervalo de confianza y un coeficiente *(C)* de confianza, y dada una estimación de la desviación estándar de la población de las veces que se va mediante la teoría del muestreo, el ingeniero puede determinar el número de ciclos requeridos para satisfacer el error del muestreo, aplicando el siguiente procedimiento de "dos etapas".[1]

1. Con base en las exigencias de la situación particular considerada, especifique el intervalo de confianza I y el coeficiente de confianza C.
2. Haga las mediciones de tiempos para M ciclos de operación, digamos para $M = 10$.
3. Calcule la desviación estándar de la muestra *(s)* a partir de la siguiente fórmula:

$$\sqrt{\quad \over M - 1}$$

4. Calcule el intervalo de confianza I_M proporcionado por esta muestra

[1] Basado en el procedimiento de prueba de dos muestras, de Stein, y conforme al trabajo de Morton Klein, "Double Sample Estimation in Work Measurement", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 10, N' 3, 1959.

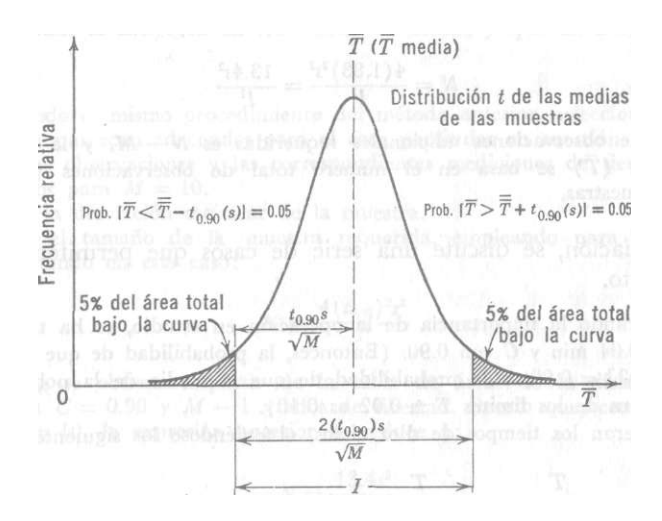


Figura 76. Una distribución de las medias de muestras de **M** observaciones, cada una de ellas obtenida a partir de una población de tiempos de comportamientos o desempeños ejemplificada en la figura 75. En esta figura pueden apreciarse la significancia y la manera de deducir la ecuación 1; también se indica la ecuación mediante la cual se estima el tamaño de la muestra.

observaciones requeridas, empleando para ello tó fórmula 1. La fuente y significado de esta fórmula se muestran en la figura 76.

/M = 2ÍO.o (VÍVÍ) (1)

íoso se obtiene de la tabla de probabilidades para la distribución í de Student, para C = 0.90 y M — 1 grados de libertad.[2] Si M = 10, como se sugirió anteriormente, entonces U% = 1.83 y la ecuación 1 se reduce a

/ „ = 2(1.83) (- 7 ^ = 1.16* (2)

Si *Iu* es igual o menor que *I,* el intervalo de confianza especificado, la muestra de M observaciones satisface los requerimientos del error de muestreo. Esto es, si *Iu § I,* las *M* observaciones anteriormente tomadas son adecuadas. La media de la muestra **(7*)** puede basarse satisfactoriamente en esas observaciones.

5. Si Iu > I, se requieren observaciones adicionales, y el número total de observaciones requeridas *(N)* puede estimarse a partir de

I = *2(t„.„)* — \N

N = **(3)**

[2] En el apéndice *D* se dan los valores de *tj¡«* correspondientes a ciertos valorei de M.

en donde ío.» tiene el valor anterior. Si M = 10, esta expresión se reduce a

y = 4(1.88) V = 1 3 A 1 (4)

El número de observaciones adicionales requeridas es N — **Ai,** y la media de la muestra final (T) se basa en el número total de observaciones *(N)* tomadas en las dos muestras.

A continuación, se discute una serie de casos que permiten ilustrar el procedimiento.

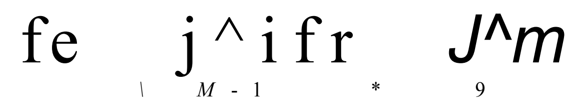
1. Considerando la importancia de la operación en estudio, se ha tomado I con un valor de 0.04 min y C con 0.90. (Entonces, la probabilidad de que [T — 0.02 g T ' á T + 0.02] = 0.90, y la probabilidad de que la media de la población estará realmente fuera de los límites T ± 0.02 es 0.10).
2. Se midieron los tiempos de diez ciclos, obteniéndose los siguientes resultados:

T	T
0.35	0.32
0.33	0.39
0.40	0.30
0.37	0.39
0.34	0.41

Y J = 3.60

T ' , 3.60 / 10 0.360

3. La desviación estándar de esos diez tiempos es



fe j^ifr J^m

\ M - 1 * 9

4. Mediante la ecuación 2 se obtiene

7,o = 1.16* = 1.16(0.037) = 0.043

el cual es mayor que el valor especificado para 1 (0.04).
5. Ya que I_M > I, se requieren observaciones adicionales. Mediante la ecuación 4 obtenemos:

v - IMf! - 13.4(0.037)' _ •
r ~ • $(0.04)^2$ "

Es decir, deben hacerse doce observaciones en total, pero, puesto que ya se han hecho diez, únicamente deberán observarse dos ciclos adicionales, a fin de satisfacer las condiciones especificadas acerca del error de muestreo.

El procedimiento anteriormente expuesto requiere bastante tiempo para su aplicación, por lo que suele resultar prohibitivo para aplicarlo en cada uno de los casos potenciales de interés en el estudio de tiempos. Afortunadamente, existen algunos procedimientos abreviados cuya aplicación permite reducir el tiempo requerido para hacer las estimaciones, ; además, permiten asimismo el uso de técnicas estadísticas por lo que resultan más prácticos; aunque con un error ligeramente mayor en la estimación del tamaño de la muestra. Un método que es un poco más corto que el anterior, no obstante lo cual es igualmente preciso, es el que, por lo común se

recomienda en la mayoría de los libros de texto, y que se describe a continuación :

1. Empleando el mismo procedimiento del método anterior, seleccione los valores *de I Y C* que parezcan adecuados para el caso particular en cuestión.
2. Haga las observaciones y las correspondientes mediciones de tiempo, para *M* ciclos, digamos para *M* — 10.
3. Calcule la desviación estándar de la muestra.
4. Calcule el tamaño de la muestra requerida, empleando para ello la ecuación 3; resultando en este caso:

¿V = (3)

en donde ío.» se obtiene a partir de la tabla de áreas de la distribución *t* de Student, para *C* = 0.90 y *M* — 1 grados de libertad. Puesto que, como en el caso anterior, *M* — 10, la expresión anterior se reduce a:

N = —p— (4)

Si *N > M,* deberán hacerse *N* — *M* observaciones adicionales, a fin de satisfacer los requerimientos de error de muestreo.

Una ventaja del primer método, con respecto al segundo, consiste en que, al calcular I_M después de haber hecho *M* observaciones, puede indicar que aun cuando *Im > I,* lok dos están lo suficientemente cercanos (en el caso anterior, por ejemplo, respectivamente valen 0.043 y 0.040), por lo que no es necesario hacer nuevas\observaciones; sobre todo, cuando no son económicas. Los dos procedimientos mostrados requieren de mucho tiempo, principalmente porque es preciso el cálculo de ***s;*** cosa que puede hacerlos imprácticos. El rango ($T_{máx}$ — $T_{mín}$) de la muestra de *M* observaciones puede emplearse para estimar j, en un tiempo mucho menor que el requerido cuando se emplea la expresión

4 xr M / M - 1

La estimación de Í puede hacerse a partir de R/d_2, en donde *R* es el rango de las observacignes y d2 es el factor de conversión, cuyo valor depende de *M;* así, para *M* = 10, d_2 = 3.078. En el apéndice *E* se dan los valores de d_2 para *M* comprendida entre 5 y 20. Aplicando este método al ejemplo en estudio, en la página 244, se obtiene el siguiente valor:

$$s = \frac{R}{d_2} = \frac{0.41 - 0.30}{3.078} = 0.036$$

valor que es ligeramente menor que el encontrado por el método más elaborado, en el que se encontró Í = 0.037, para la muestra de 10 observaciones.

Cuando se aplica este método para estimar *s,* en las ecuaciones 2, 3 y 4, deberá substituirse dicha variable, por la relación R/d_2; así, para nuestro problema en estudio, la ecuación 4 se nos reduce a

$$N _ \quad = l \wedge g j \qquad (5)$$

Existen otros muchos artificios que permiten reducir el tiempo para calcular el tamaño de la muestra, pudiéndose citar, entre otros, las tablas, curvas y gráficas de alineación.[3] Los distintos aspectos del procedimiento estadístico, tales como utilidad, propiedad y teoría, todo ello con respecto a la determinación del tamaño de la muestra, en un estudio de tiempos por el método de parar y observar, se discutirán ampliamente en el capítulo 16.

CALIFICACION DEL DESEMPEÑO DEL OPERADOR

Al terminar el período de observaciones, el analista habrá .cumulado un cierto número de tiempos de ejecución y el correspondiente factor de calificación, y mediante la combinación de ellos puede establecer el tiempo normal para la operación en cuestión. Deberá notarse que el factor de calificación se basa en el mismo período de ejecución del operador, que el empleado para la determinación de los tiempos. En otras palabras, una vez que el observador ha medido los tiempos para la muestra de ciclos que resultó adecuada para el error de muestreo especificado, no necesita realizar una nueva serie de mediciones, sino que debe concentrarse y seleccionar el factor de calificación, como si fuera una cosa completamente diferente.

Para que el proceso de calificación conduzca a un estándar eficiente y útil, deberán satisfacerse en forma razonable los tres siguientes requisitos:

1. La compañía debe establecer claramente lo que se entiende por tasa de trabajo normal, y el nivel de rendimiento que espera que sus estándares representen, así como que lo anterior se exprese en forma fácilmente comunicable.
2. En la mente de cada uno de los calificadores debe existir una aproximación razonable del concepto de desempeño normal.
3. El calificador debe procurar incrementar su habilidad para aplicar este concepto a las diversas operaciones, y llegar a coeficientes de calificación razonables.

Desafortunadamente, los medios actualmente disponibles para llevar a cabo las tres etapas anteriores, aún están en un estado relativamente burdo

[3] Para una descripción del uso de una gráfica de alineación para estos propósitos, véase: John M. Allderige, "Statistical Procedures in Stop Watch Work Measurement", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 7, N° 4, julio y agosto de 1956.

y dejan mucho que desear; por este motivo, en la práctica no se dispone de medios objetivos para expresar o aplicar el concepto de desempeño normal, ni para tomar decisiones respecto al mismo. Algunas de las medidas actualmente disponibles se describen a continuación.

Forma de establecer y expresar el concepto de la compañía respecto al desempeño normal

Querer determinar la forma en que una compañía obtuvo su concepto particular respecto a la tasa normal de trabajo, es un problema muy confidencial y realmente difícil de descubrir en la mayoría de los casos. La razón principal de lo anterior es que casi nunca puede llegarse al nivel normal de desempeño, mediante una decisión especificada, por cuidadosa y deliberada que ésta sea; más bien, es el resultado de un conjun to de aproximaciones sucesivas, en las que el tiempo es un factor muy importante, ya que casi siempre se parte de una noción muy vaga y burdamente especificada de lo que la compañía quiere que sea el desempeño normal; posteriormente, el departamento de estudio de tiempos, a partir de la experiencia que le proporciona un cierto período de estudio y experimentación, determina el nivel en que cae el normal antes citado, dentro de los amplios límites especificados inicialmente. En otras palabras, el concepto de normal es el producto de una cierta "evolución", que parte de la idea general que inicialmente se tiene acerca de él, y como un índice de esto, cuando el nivel no evoluciona, puedo asegurar que está siendo afectado por el desempeño general de la compañía que existía antes de que los estándares fuesen establecidos, así como por ciertos factores relacionados con los salarios.

Aun cuando no existe un método satisfactorio ni convencionalmente aceptado para seleccionar y expresar el desempeño normal, las siguientes recomendaciones pueden resultar valiosas para ese fin.

1. Fije arbitrariamente un punto de referencia, en términos de una tarea común, tal como caminar o acomodar tarjetas. En esta forma, la compañía puede establecer que su concepto normal del desempeño es caminar a una velocidad de 5 kilómetros por hora, o acomodar tarjetas con una velocidad de un paquete cada treinta segundos, etc. Al generalizar este concepto a una gran variedad de actividades en un taller, siempre deberá tenerse en mente que existe un error, ya que muchas de esas operaciones tienen muy poca semejanza con la tarea relativamente simple que se seleccionó.
2. Elija arbitrariamente una tasa de desempeño para la operación representativa del taller, o para varias de ellas, según el caso. Usando operaciones reales, de las comúnmente encontradas en la planta, y demostrando el desempeño normal para cada una de ellas, se elimina en gran parte la restricción de la primera alternativa. Por supuesto, es indispensable el criterio para seleccionar a ese desempeño representativo normal, pero puede

hacerse cuidadosamente, con base en las diversas opiniones que puedan recopilarse.

3. Adopte algún sistema compacto, tal como el de tiempos de movimientos predeterminados, incluyendo en él al concepto de desempeño normal.

4. Emplee uno o más analistas experimentados en estudios de tiempos, y tome el trabajo de los mismos, junto con la asesoría de la gerencia, como elemento fundamental del normal por establecer. Este y muchos de los diferentes medios para establecer una tasa de desempeño que desea emplearse como normal, son, tundamentalmente de naturaleza aleatoria; es decir, son procesos que se "espera que ocurran" y cuyo resultado siempre tiene caracieristicas al azar. Por este motivo, al especialista casi siempre le resulta muy difícil, si no imposible, expresar lo que es el desempeño normal.

Siempre debe tenerse oreante que el concepto de normal difiere entre las distintas compañías; así, por ejemplo, lo que la compañía *A* llama un 90 por ciento de desempeño, la compañía *B* puede considerarlo de 125 por ciento, y la compañía *C* de 100 por ciento, etc.; sin embargo, aun cuando aparentemente esto tiene importancia, en realidad no ocurre as!. No obstante, *dentro* de la compañía debe hacerse todo lo posible para que este concepto se uniforme entre los diferentes calificadores, así como para que varíe lo menos posible con el tiempo. En otras paí-ibras, lo crítico no está en aquello que la compañía fije como nivel absoluto para un cierto normal, sino en *mantener la uniformidad,* dentro de la compañía, de la interpretación y aplicación del nivel que se haya elegido.

La importancia de convencer al calificador respecto a la importancia de la tasa normal del trabajo

Decidir respecto al nivel de desempeño que deba considerarse como "normal" es un asunto de segunda importancia; lo trascendental está en hacer que el calificador tenga en su mente una imagen clara y confiable de este nivel; es decir, nunca estará por demás cualquier esfuerzo que se haga para "mostrar" al calificador lo que se entiende por desempeño normal. Hasta ahora, el método que ha tenido mayor éxito a este respecto, es el uso de películas de los movimientos típicos de las operaciones del taller, pues en esta forma se muestran en forma realmente significativa. Por este motivo, es altamente recomendable que cada calificador estudie y practique la forma de tomar las películas para calificación, durante su período de aprendizaje; y aún más, que lo haga periódicamente, aun cuando tenga ya varios años de experiencia.

Otro método para lograr que se grabe en la mente del calcador la importancia de este concepto, consiste en incluir a los nuevos calificadores en grupos dirigidos por otros ya experimentados, no únicamente durante el período de aprendizaje, sino aun después; de esta manera, el nuevo calificador tiene oportunidad de aprender del más viejo. Conviene aclarar que este procedimiento, aun cuando es aceptable, no debe considerarse como un substituto del método en que se emplean películas, sino que debe emplearse simultáneamente con él.

Cómo obtener un grado razonable de destreza para aplicar este concepto de normal

Darle al calificador una "definición" satisfactoria del desempeño normal, es materia necesaria; sin embargo, de ninguna manera debe esperarse que esto le dé la habilidad suficiente para poder calificar adecuadamente; sino que, mediante su trabajo personal, él debe desarrollar su habilidad a fin de que pueda estar en condiciones de comparar la rapidez observada en el trabajo, con la imagen mental que tiene de la tasa normal del desempeño para la operación en cuestión, para después convertirla en el factor numérico de calificación. Probablemente, esta es la fase más difícil y problemática del proceso de calificación, conviniendo percatarse de que únicamente la práctica puede dar la habilidad para calificar correctamente. El método más efectivo para desarrollar la habilidad de calificar, parece insistir sobre el uso de películas de las diferentes operaciones en el taller; ya que, además de constituir un medio para mostrar el desempeño normal, pueden muy bien emplearse con fines de calificación. La práctica común consiste en mostrar al calificador una diversidad de operaciones ejecutadas a diferentes velocidades, después proporcionarle las calificaciones conocidas, para que a partir de ellas pueda determinar sus errores y, con ello, al mismo tiempo, mejore la precisión de sus estimaciones. Estas sesiones deberán practicarse con la frecuencia que se considere necesaria, hasta que se haya reducido a un grado tolerable el error del observador; además, conviene que se hagan prácticas en el trabajo mismo, siempre bajo la guía de un calificador experimentado.

Evidentemente, los métodos aquí sugeridos tienen sus limitaciones; sin embargo, indiscutiblemente esto es mejor que dejar solo al futuro calificador para que establezca los estándares del taller, y presionarlo para que, mediante un proceso misterioso de asimilación, obtenga una noción de lo que la compañía quiere dar a entender con desempeño normal; pues seguir este camino casual, indiscutiblemente resultaría mucho más costoso a la compañía, que depender de una comunicación y entrenamiento cuidadosos.

Sistemas de calificación específicos

Hasta ahora hemos discutido a la calificación como un proceso general; sin embargo, en la práctica se encuentra que es realmente grande el número de los diferentes métodos que existen para satisfacer esta necesidad. La diferencia a que nos referimos, consiste en que los factores que son de

primera importancia para una cierta compañía, son ignorados completamente por alguna o todas las restantes. Los métodos específicos para calificar el desempeño, de acuerdo a las distintas variables que consideran, pueden clasificarse en la siguiente forma:

1. Calificación del ritmo, es una frase que se emplea para describir lo que en forma general hemos discutido; es decir, en la calificación del ritmo,

TABLA 7

Sistema Westinghouse para calificación del desempeño *

Habilidad			Ritmo f		
-i- 0.15	*Al*		+ 0.13	*Al*	
+ 0.13	*A2*	Sobresaliente	+ 0.12	*A* 2	Excesivo
+ 0.11	*Bl*		+ 0.10	*Bl*	
+ 0.08	*B2*	Excelente	+ 0.08	*B2*	Excelente
-f 0.06	*C*1		+ 0.05	*C*1	
+ 0.03	C2	Buena	+ 0.02	*C2*	Bueno
0.00	*D*	Promedio	0.00	*D*	Promedio
- 0.05	*EX*		- 0.04	*El*	
- 0.10	*E2*	Regular	- 0.08	*E2*	Regular
- 0.16	*F*1		- 0.12	*F*	
- 0.22	*F2*	Mala	- 0.17	*F 2*	Malo

* Estudios de Lowry, Maynard, y Stegemerten, *Time and Motion Study,* 3a. ed., McGraw-HilI Book Company, New York, 1940. Reproducida con el permiso del editor.

t Lo, autores de! sistema Westinghouse emplean el término esfuerzo, en vez del más descriptivo que es ritmo.

se juzga la rapidez con que trabaja el operador, *la rapidez de stis movimientos,* la rapidez con que se empeña en su trabajo, etc. A diferencia de otros métodos de calificación, en este sistema el calificador juzga la velocidad con que el operador ejecuta los movimientos involucrados, pero *no* los movimientos que emplea el operador, *ni* la destreza de éste. Aun cuando en este libro hemos empleado los términos calificación del paso, en algunos artículos suelen emplearse títulos tales como calificación del esfuerzo, calificación del tiempo, y calificación de la rapidez (este último únicamente sería apropiado si se aplica al proceso que está ocurriendo en ese momento) .

2. *Calificación del desempeño,* método en el que simultáneamente se juzgan el paso (véase 1) y la habilidad que muestra el operador. Bajo cierto aspecto común del desempeño, estos dos factores se califican separadamente, mientras que en otra versión bastante usada, lo que se juzga es el efecto neto de los dos. Cuando se requiere un análisis separado de la

habilidad mostrada y del ritmo, se califican a ambos por separado, y posteriormente se combinan para obtener una calificación compuesta del desempeño observado; la versión más difundida de este procedimiento, es el sistema Westinghouse para la calificación del desempeño, también conocida como nivelación.[4] Bajo este sistema, haciendo uso de la tabla 7, se seleccionan dos factores de ajuste independientes, uno para el ritmo, y otro para la habilidad; para fijar ideas respecto a la secuela para la aplicación de esta tabla, consideremos el siguiente ejemplo: suponiendo que el desempeño observado se juzga en + 0.08 con respecto a la habilidad y en — 0.04 con respecto al ritmo, el factor de calificación correspondiente está definido por 1.00 + (0.08 - 0.04) = 1.04.

Adicionalmente, algunos usuarios de este sistema califican a la consistencia y condiciones, en la misma forma que la habilidad y el paso, y emplean para ello tablas semejantes a la descrita anteriormente, obteniendo esos factores adicionales. A este respecto, el autor no recomienda juzgar la influencia de las condiciones sobre el desempeño, ni pretende calificar la consistencia, independientemente de la habilidad.

La otra forma usual de calificar el desempeño, consiste en calificar el desempeño total; es decir, el resultado neto de la habilidad y ritmo del operador. De acuerdo con esto, lo que aquí se califica es el paso y habilidad del operador, en vez de la contribución relativa de los dos factores, como se hace en el sistema Westinghouse. Para obtener el valor numérico del factor de calificación, el calificador observa el desempeño y lo compara con lo que él cree que es el desempeño de un operador bajo ritmo y habilidad normales.

Con el fin de comparar los tres métodos discutidos hasta ahora, supongamos que el desempeño de un cierto operador ha sido calificado bajo el sistema Westinghouse, con los siguientes resultados; 0.06 para la habilidad, y 0.08 para el íitmo, lo cjue conduce a un factor de calificación de 1.14.

Entendamos claramente la diferencia entre los métodos descritos para la calificación del desempeño. *Conceptualmente,* bajo el segundo de los métodos, el desempeño total se calificaría en 1.14; mientras que, teóricamente, bajo el método de calificación del ritmo, la calificación sería de 1.08; lo que demuestra que, efectivamente, lo único que se ha calificado es el ritmo.

3. *Calificación "objetiva",*[5] método según el cual se califican el ritmo y la dificultad del trabajo. Bajo este procedimiento, el operador se califica

[4] La confusión en la terminología con respecto a los diversos sistemas de calificación, es realmente extrema. Por ejemplo, el término nivelación suele emplearse como equivalente al de sistema Westinghouse, y otras veces como sinónimo del proceso general de calificación. La calificación del ritmo suele denominarse calificación del esfuerzo; asimismo, a la calificación del desempeño suele llamársele calificación del esfuerzo. Cosa análoga sucede con otros conceptos de este campo; por este motivo se recomienda al lector que "aclare la terminología" a fin de que pueda discutir inteligentemente con cualquier persona, acerca de la calificación.

[5] M. E. Mundel, *Motion and Time Study,* 3a. ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1960.

exactamente en la misma forma que en el método 1; pero posteriormente se selecciona un segundo factor de ajuste que toma en cuenta la dificultad del trabajo, para lo cual se emplea la tabla 8. A partir de estas dos estimaciones independientes se obtiene un factor de calificación del desempeño observado, y valga como ilustración del procedimiento, el siguiente ejemplo: Supongamos que el desempeño del elemento *A* de una cierta operación manual, con respecto al método de calificación del ritmo se le da un valor de 1.10, y que con base en las características de este elemento las siguientes selecciones fueron extractadas de la tabla 8:

Categoría No.	Descripción	Letra de referencia	Porcentaje de ajuste
1	Parte del cuerpo empleada	*D*	5
2	Pedales	—	—
3	Bimanuales	*H*2	18
4	Coordinación del ojo y mano	*K*	4
5	Requerimientos de manipulación	*P*	2
6	Peso	*W*1	2

Ajuste total por la dificultad del trabajo: 31%

El *producto* de la calificación del paso y la calificación de la dificultad nos define el factor de calificación del elemento *A;* por lo que para el ejemplo citado vale: (1.31) (1.10) = 1.44, por lo que el tiempo representativo de *A* deberá multiplicarse por 1.44. Deberá tenerse presente que la calificación de la dificultad del trabajo se obtiene para cada elemento de la operación; cosa que no es necesaria para el método de calificación del ritmo. Antes de pretender aplicar la calificación objetiva, deberán entenderse claramente todos los detalles del procedimiento, para lo cual se recomienda la consulta de una exposición más amplia.[6]

De los diversos procedimientos de calificación expuestos, el autor recomienda la calificación del ritmo; pero con ciertas provisiones adicion^jes que describiremos en este capítulo, referentes todas ellas a la manera de tratar lo molesto e inevitable de las variaciones del método.

El sistema Westinghouse, como muchos de los descritos, aparentemente está sujeto a un severo y válido criticismo respecto al resultado de los valores, en apariencia fuertemente ajustados, permitidos para los niveles superiores de habilidad y ritmo; sin embargo, esto no parece probable, ya que, por ejemplo, si un trabajador incrementase su paso de "promedio" a "excesivo" (véase la tabla 7), únicamente incrementaría su producción en un 13%. Además, siempre existe la duda de que la habilidad se juzgue satisfactoriamente para fines prácticos. Respecto a la calificación objetiva, aun cuando parece basada en principios racionales, evidentemente muestra deficiencias en los ajustes mostrados en la tabla 8, siendo de esperarse un mayor progreso en lo que a esto se refiere.

[6] *Ibíd.*

TABLA 8

Tabla de los ajustes por la dificultad del trabajo, usada en la calificación objetiva *

Categoría No.	Descripción	Letra de referencia	Condición	Porcentaje de ajuste
1	Parte del cuerpo usada	*A*	Escaso uso de los dedos.	0
		B	Muñeca y dedos.	1
		C	Codo, muñeca y dedos.	2
		D	Brazo, etc.	5
		E	Tronco, etc.	8
		*E*2	Levantar del piso con las piernas.	10
2	Pedales	*F*	Sin pedales o un pedal con fulcro bajo el pie.	0
		G	Pedal o pedales con fulcro fuera del pie.	5
3	Uso de ambas manos	*H*	Las manos se ayudan entre sí, o trabajan alternadamente.	0
		*H*2	Las manos trabajan simultáneamente haciendo el mismo trabajo en piezas iguales.	18
4	Coordinación de ojo y mano	*I*	Trabajo burdo, principalmente al tacto.	0
		J	Visión moderada.	2
		K	Constante, pero no muy cercana.	4
		L	Cuidadosa, bastante cercana.	7
		M	Dentro de 0.4 mm.	10
5	Requerimientos de manipulación	*N*	Puede manipularse burdamente.	0
		O	Solamente un control burdo.	1
		P	Debe controlarse, pero puede estrujarse.	2
		Q	Debe manejarse cuidadosamente.	3
		R	Frágil.	5
6	Peso		Se identifica con la letra *W*, seguida por el peso o resistencia real.	Use la tabla de abajo

Peso en kg	Porc. de ajuste. Levantar con el brazo	Porc. de ajuste. Levantar con la pierna	Peso en kg	Porc. de ajuste. Levantar con el brazo	Porc. de ajuste. Levantar con la pierna	Peso en kg	Porc. de ajuste. Levantar con el brazo	Porc. de ajuste. Levantar con la pierna
0.5	2	1	3	15	3	5.5	24	8
1.0	5	1	3.5	17	4	6.0	25	9
1.5	6	1	4.0	19	5	6.5	27	10
2.0	10	2	4.5	20	6	7.0	28	10
2.5	13	3	5.0	22	7	Etc.	Etc.	Etc.

* Estudios de M. E. Mundel, *Motion and Time Study,* 2a. ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. Con permiso del editor.

Desviaciones del método

Mientras el método observado sea el que sirva de base para establecer los tiempos estándar, deberá emplearse la calificación directa del paso, conforme a la descripción que de él hicimos anteriormente. Sin embargo, para mala suerte del inquebrantable espíritu del especialista en estudio de tiempos, el método cuyos tiempos mide, o al que califica, casi nunca será el estándar en que deberá basarse, ni el que posteriormente se usará una vez que haya sido establecido. La principal razón de esto se debe a que durante el estudio de tiempos de una operación cualquiera, es muy probable que el operador se enfrente a una diversidad de variaciones del método de trabajo. A continuación describiremos cuatro de los principales tipos de desviaciones que, con respecto al método estándar, suelen presentarse como particularmente problemáticos.

1. Variaciones al azar en el método, de un ciclo a otro; tales como variación en la trayectoria del movimiento, longitud y tipo de movimiento, número de movimientos, superposición de los mismos, así como descuidos e irregularidades. Al alcanzar una charola que contiene diversas piezas, por ejemplo, la distancia y trayectoria de los movimientos varía de un ciclo a otro, cosa que puede deberse a la variación de la posición de las diferentes piezas, a los movimientos para remover y reacomodar las piezas, a que se zafen las piezas de las manos, y a algunas otras razones. Estas características de azar son las que hacen que la probabilidad de que dos ciclos sea prácticamente nula.

2. Cambios temporales e intencionales que el operador introduce en el método, únicamente mientras se efectúa el estudio de tiempos, pretendiendo incrementar el tiempo del ciclo con el objeto de que se obtengan estándares del trabajo más liberales que los que de otra manera se obtendrían. Esta práctica suele ser una de las cosas que el observador debe esperar, principalmente cuando los estándares se establecen para un incentivo de salarios. El ejemplo clásico de este tipo de desviación se encuentra en cualquier operación de maquinado, en las que el operador suele emplear una velocidad menor de la máquina, o alimentarla más lentamente de como lo hará una vez que haya terminado el estudio de tiempos y que se hayan establecido los estándares. Otra triquiñuela suele ser que, durante el estudio de tiempos para establecer los estándares, el operador tome una operación de ensamble en la que dos tuercas deban colocarse, atornillarse y apretarse; además, no usa los movimientos adecuados de la mano, sino que deliberadamente usa movimientos individuales de los dedos para enroscar las tuercas. Ordinariamente haría girar la tuerca diestramente, con varios golpes de su dedo índice, empleando solo una fracción del tiempo requerido para esos movimientos deliberados. Evidentemente, el operador no tiene la menor intención de emplear ese "método temporal' especial, una vez que el estándar de tiempo se haga efectivo.

3. Una desviación que "infla" al tiempo normal de ejecución, como se mencionó en el párrafo número 2, pero que en este caso no es intencional. Esto se presenta cuando el operador no está debidamente adiestrado, o porque es incapaz de ejecutar el trabajo en la forma correcta; algunas veces esta falta de habilidad se debe a que no se practicó suficientemente la operación en estudio, en cuyo caso, el observador no puede evitar los movimientos innecesarios, ni los descuidos, o que las piezas y herramientas se zafen de las manos, etc.

4. Una desviación del método originada por un mejoramiento con respecto al estándar, pero que, sin embargo, es una innovación única en el operador bajo observación, que no debe esperarse de la mayoría de las personas que realicen la operación en estudio; ya que únicamente el operador observado y, posiblemente, una pequeña parte de los operadores potenciales serían capaces de emplear este método particular. Este tipo de desviación puede implicar menos movimientos, movimientos de tipo superior, o una secuela de movimientos mejor integrada que aquellos que normalmente podrían esperarse de la tarea en cuestión.

(Esto conduce a la conclusión referente a la relación entre los dos términos frecuentemente encontrados, habilidad y método. Esencialmente, *la habilidad es parte del método,* pues ordinariamente un trabajador manual se identifica como excepcionalmente hábil, porque, tal vez en una forma muy sutil, él emplea menos y/o diferentes movimientos, y/o diferente secuela de los mismos, que los que usualmente se espera que requiera. Todo esto es parte del método, ya que éste consiste en cómo debe ejecutarse la tarea. En lo sucesivo, el término habilidad se empleará con referencia a algún aspecto del método de trabajo que se espera que realicen solamente una parte relativamente pequeña de trabajadores potenciales, debidamente entrenados.)

Una vez enunciados los diferentes tipos de desviación, automáticamente surge la pregunta: ¿Por qué ^on tan problemáticos estos tipos de desviación? La respuesta es la siguiente: A menudo es imposible o impráctico eliminar dichas desviaciones qel método en el desempeño, por lo que el analista está obligado a observarlas. En lo que respecta a las variaciones de naturaleza aleatoria, es imposible eliminarlas. A su vez, a menudo resulta imposible, o poco factible, intentar que el trabajador elimine las desviaciones temporales, casi siempre intencionales, *aun cuando* el observador esté seguro de que son intencionales, y por lo mismo, evitables. Además, en la mayoría de las situaciones no existe la posibilidad de elegir a otro operador, una vez que se ha comprobado que el seleccionado inicialmente no emplea el método prescrito, ya que suele ser frecuente que ese operador sea el único que realiza la tarea en consideración; finalmente, el sindicato establece a menudo restricciones en la selección del operador que deba ser empleado en el estudio de tiempos; no siendo raro el caso de que el observador se enfrente a la disyuntiva de emplear al operador fijado, o a ningún °tro; esto agrava la situación, porque usualmente el operador que debe

ser estudiado, frecuentemente desvía ei método prescrito, bien sea hacia una mayor o menor habilidad.

Ante este conjunto de problemas, si va establecerse un estándar respecto a la operación en cuestión, que deba basarse en un método establecido, y si por cualquiera de los motivos indicados no es posible observar directamente ese método, ¿qué puede hacer el observador? Si el observador procede a estudiar ese método y sabe que no es estándar y simplemente se limita a calificar el paso del desempeño, habrá logrado su objetivo.

La corrección a las desviaciones del método; un tercer ajuste básico del tiempo observado

El desempeño a que se enfrenta un observador cuando hace su estudio de tiempos, probablemente no representa el paso normal del trabajo, ni el método estándar para esa tarea que se supone que en él deberá basarse el tiempo estándar por establecer. Como consecuencia de esto, a menudo es necesario un tercer ajuste básico del tiempo registrado por el reloj, para la desviación de la tarea, con respecto al método estándar, además de la calificación del paso y las tolerancias. A continuación se describen los diferentes medios para corregir la desviación en el método.

1. Si la desviación es completamente ajena al método y es lo suficientemente grande como para que justifique un estudio con reloj, el tiempo correspondiente a la desviación puede restarse del tiempo del ciclo representativo. Por ejemplo, si durante un estudio de tiempos de una operación de clasificación, el operador emplea aproximadamente 20 golpes en la fila, cuando realmente 15 serían los adecuados, y aceptando que el tiempo requerido para una operación de 20 golpes sea de 0.40 min, el tiempo necesario para los 15 golpes sería de 0.40 min X (15 golpes/20 golpes) = 0.30 min. En esta forma, el tiempo inecesario originado por la desviación, es decir, los 5 golpes adicionales, se elimina automáticamente. Otro ejemplo se tiene en una operación de taladrado en la que se usa una peqyña guía y en que es necesario que periódicamente el operador tome la rrífeiguera de aire y quite la viruta de la guía; ahora bien, mientras que ordinariamente basta realizar este proceso aproximadamente una vez por cada seis ciclos, durante un estudio de tiempos el operador lo hace al final de cada uno de ellos. El tiempo normal para "soplar la viruta", de acuerdo con un estudio de tiempos, es de 0.05 minutos y debido a que este elemento es necesario una vez por cada seis ciclos, en vez de en cada uno de ellos, la tolerancia por pieza sería de 0.05 min/6 = 0.008 minutos.

2. Si la desviación, como en el párrafo 1, implica movimientos extras, *pero muy cortos,* en cuyo caso no se justifica una medición por el método de parar y observar; si la desviación se debe a que se están empleando *menos* movimientos que los esperados; o si se debe a que se está empleando una secuela de movimientos *diferente a* la prescrita, se aconseja el uso de un sistema de movimientos predeterminados, para hacer la corrección.

También puede emplearse una Medición de Tiempos y Métodos para sintetizar el tiempo normal asociado con la desviación en cuestión, y así sumarlo, o restarlo (según sea el caso), del tiempo normal del *ciclo,* obtenido por estudio de tiempos y calificación del paso del método de trabajo realmente presentado. En los siguientes ejemplos se ilustra la forma en que pueden aplicarse los tiempos de movimientos predeterminados, para el fin citado.

En una cierta operación de prensado de corto ciclo, el operador puede, y se supone que lo hace, levantar una pieza en preparación, para el próximo ciclo, mientras está en proceso la tomada previamente. Durante un estudio de tiempos de esta operación, el operador no puede (o no quiere) proceder en esa forma, sino que, en vez de ello, espera hasta que termine el golpe de la prensa y retira la pieza terminada, después toma la siguiente pieza y la coloca en el dado o troquel, los movimientos extras, en términos de MTM son un R6C y un G4B, los cuales podrían efectuarse durante el tiempo de prensado, mejor que después. Si el tiempo normal del ciclo, determinado mediante el método de parar y observar (otra vez, únicamente se calificó el paso) fue de 0.062 min, para el método que usó el operador, el tiempo normal que debiera permitirse es de:

0.062 - *(R6C + GAD)* = 0.062 - (0.0061 4- 0.0055)
= 0.050 min.[7]

Valga el siguiente caso como segundo ejemplo. Se recordará que en la operación de ensamble citada anteriormente, debían colocarse dos tuercas, enroscarse y apretarse; ahora bien, durante un estudio de tiempos, un operador observado enroscó las tuercas mediante un gran número de movimientos deliberados, en vez de hacerlo con simples movimientos del dedo índice, como podía y debía esperarse que lo hiciera bajo las circunstancias dadas. Suponiendo que el tiempo normal obtenido mediante un estudio de tiempos de parar y observar, para esa operación efectuada con un método deficiente, es de 0.26 min, el uso de MTM, para sintetizar los dos métodos de enroscar las tuertas, proporcionó los siguientes resultados:

"Impulsos rotatorios

LH	Min.	RH	Repite
Sostener	0.0014	RIE	Repite
	0.0010	G1A	6
	0.0017	M1B	veces
	0.0010	RL1	
	0.0051		
	X 6 (6 repeticiones)		
	0.0306		
	X 2 (tuercas por ensamble)		
	0.061 min.		

Movimientos "deliberados"

LH	Min.	RH	Repite
Sostener	0.0028	M2B impulso i-	3
l	0.0028	M2B regreso J	veces
	0.0056		
	X 3 (3 repeticiones)		
	0.0168		
	X 2 (tuercas por ensamble)		
	0.034 min.		

Los tiempos del sistema de tiempos de movimientos predeterminados, usados Para hacer tales ajustes, deben de calibrarse cuidadosamente, a fin de que representen mismo nivel de desempeño usado como normal en la calificación del ritmo.

Para estimar, a partir de estos datos, lo que debe ser el tiempo normal del ciclo para la operación empleando el método de los impulsos rotatorios, el tiempo sintetizado para la desviación en el método, deberá reemplazarse por el tierno sintetizado para el método deseado; entonces:

Tiempo normal = 0.26 - 0.061 + 0.034 = 0.23 min.

3. Si no puede evitarse la desviación en el método, ni puede compensarse satisfactoriamente por ninguno de los métodos anteriores, lo recomendable es tratar de ajustar la desviación, como parte del proceso de calificación. Aun cuando ésta es una práctica no aconsejable, algunas veces es la única posible; por ejemplo, este proceso puede ser necesario cuando el observador se enfrenta a un operador que manifiesta una habilidad excepcional, atribuible a diferencias pequeñas y sutiles en la secuela de movimientos, las que no pueden ser sintetizadas satisfactoriamente, ni ajustadas por el método de tiempos de movimientos predeterminados. En casos como éste, si debe observarse a ese operador particular, deberá recurrirse a la calificación del desempeño; pues, como quedó establecido, bajo ese proceso de calificación, el paso *y* la habilidad se juzgan bien sea separadamente, o en conjunto. Sin embargo, deberá notarse que lo que se espera del calificador bajo este procedimiento, es que califique erróneamente el efecto de alguna desviación en la secuela de movimientos, y que en su intento de asignar un número adecuado de los puntos de porcentaje de calificación a una desviación en el método, lo único que haga sea incrementar el error del proceso de calificación.

Consecuentemente, el uso de la calificación del desempeño únicamente está justificado cuando la desviación del método no puede eliminarse o ajustarse por los métodos directos recomendados en los párrafos 1 y 2, ya que dicho método de calificación califica la habilidad, lo que a su vez es parte del método. ¿Por qué se pretende estimar el efecto que una diferencia en el número, tipo, o distribución de movimientos <andrá sobre el tiempo normal de una operación dada, mediante un cricerio burdo, cuando dicho efecto puede medirse directamente en términos del tiempo?

De acuerdo con esto, parece que si el observador puede evitar el uso de operadores de habilidad excepcional o deficiente, y si el operador disponible no hace cambios temporarios al método, o en otras palabras, si emplea el método estándar (o aproximadamente), el observador puede proceder a medir el tiempo para la operación y emplear la calificación directa del paso. Sin embargo, más frecuentemente de lo que se cree, esta condición no existe, sino que el observador debe adaptarse a una cualquiera de las posibilidades discutidas, para proceder a ajustar por la desviación. Cualquier falla en este ajuste introduce un error esperado considerablemente, como consecuencia de basar el tiempo estándar en un método que no es representativo.

/ f

Estudio de tiempos por el método de parar y observar: procesado de los datos y presentación de los resultados

Obtención de !a muestra representativa

Para obtener una muestra representativa de los tiempos correspondientes a cada elemento y a todo el ciclo en conjunto, el método más comúnmente aceptado consiste en promediar las lecturas logradas durante un período de observación, tanto para cada elemento, como para todo el ciclo. Para ilustrar la manera en que se aplica el procedimiento recomendado, consideremos las observaciones hechas durante el estudio de tiempos para el proceso de ensamble de formas en blanco, citado anteriormente (véase la figura 72). En la figura 77 se muestra una reproducción de esos datos, y a continuación pasamos al procesado de los mismos.

Mediante el símbolo ¿T representamos al total de los tiempos transcurridos; cada sumando está definido por el tiempo obtenido para cada elemento, en las diversas observaciones hechas; así, de acuerdo con la figura 77, para el elemento 1, se obtiene:

^T - 0.07+0.07 + 0.05+0.07 + 0.09+0.06+0.05 + 0.08 + 0.08+0.06
| =0.68 min...

Dividiendo este valor entre el número de observaciones hechas, se obtiene el tiempo promedio elemental para dicho elemento (T), al que también suele llamársele tiempo representativo (o, tiempo observado, tiempo de

— "^jT 0 68

reloj, tiempo registrado); para el elemento 1, *T* = — |Q = 0.07,

y se procede en igual forma para los elementos restantes.

Respecto a esta etapa del procesado de datos suele presentarse una pregunta de carácter práctico, a saber: una lectura hecha para el elemento 4, fuera de las diez consideradas en los cálculos, fue aproximadamente el

Hoja de observaciones para estudio de tiempo

Identificación de la operación „ ,, , *Ensamblar formas para gráficos de 24" X 36'* — Fecha *10/9*

Hora inicial *9:26* — Operador: *109* — Aprobado *A.N.R.* — Observador *A.N.N.*

Hora final *9:32*

Descripción del elemento y punto de descomDosición 0 separación			Ciclos 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Resumen n	T	Rf	NT
1	Doblar extremo (sujetar engrapadora)	T	0.	.07	.05	.07	•Oí	.06	•OS	•08	.06	.06	¿í	.0/		06
		R	.07	•U		.67		18	.33	M	•47	.09				
2	Engrapar 5 veces (dejar engrapadora)	T		.14	.14	.15	.16	.16	.14	.17	.14	.15	1.51	7S	IOS	16
		R	.23	.75	.26	.8	.40	•94	47	OS	.61	.24				
3	Doblar el alambre e insertarlo (dejar pinzas)	T	.22	,2S	.22	.25	.23	.23	.2!	-.26	.25	.24	ZU	n	1.00	7.4
		R	.45	.00	.50²	•07	.63³	.17	6¡		.66	46				
4	Deshacerse de la gráfica terminada (tocar la siguiente hoja)	T	.09	.09	JO	.08	.09		./Z	.08	•17	.08	1.01	./o	.90	.04
		R	•54	.09	,6o	.15	,7Z	.26	.SO	.39	.03	r 56				
5		T														155
		R												nlinutos		
6		T												-tu	ármales ara el	
		R													cicl0	
7		T														
		R														
8		T														
		R														
9		T								—H						
		R														
10		T														
		R														

Tiempo normal del ciclo + Tolerancia *(0.55 X 0.143)* °°-08 = *T|empo* estándar °-⁶3 *min./pieza*

Figura *77.* Hoja de observación completa del estudio de tiempos, para la operación de "ensamblado de formas en blanco".

doble de algunas de estas últimas, sin embargo no se hizo nada para tomar en cuenta este hecho; entonces, ¿deberá incluirse este valor "anormal" en los cálculos del tiempo promedio del elemento? Son muchas las prác-

ticas seguidas con respecto a lecturas anormales; sin embargo, si la causa Je la lectura anormal es un evento suficientemente raro, o un evento atribuible a las tolerancias, o al error de lectura, deberá descartarse; en otras palabras, el criterio para descartar, o no, una lectura de tiempo, no debe basarse solamente en la magnitud de la misma, salvo en casos extremadamente absurdos; pues el descartar en forma arbitraria a las lecturas, constituye simplemente otro elemento subjetivo importante en el proceso de estudio de tiempos.

Cálculo del tiempo normal

Para obtener el tiempo normal estimado *(TN)* del elemento en cuestión, el valor de *T* deberá ajustarse mediante el factor de calificación *(FC)* correspondiente; así, para el elemento 1 del estudio anterior, tenemos:

$$TN = FC \times T = 0.90 \times 0.07 = 0.06 \text{ min.}$$

El tiempo normal del ciclo está definido por la suma de los tiempos normales de los diferentes elementos que lo constituyen; por lo que, para el caso en consideración, resulta ser de 0.55 min.

En este estudio particular, el observador calificó cada elemento, y al proceder así obtuvo algunos factores de calificación diferentes; sin embargo, ésta no es una práctica general, sino que se estima un factor general de calificación, que posteriormente se aplica al tiempo representativo del ciclo.

Consideración de las tolerancias

Una vez que se ha determinado el tiempo representativo, y que se ha ajustado mediante el factor de calificación correspondiente, deberán sumársele a este último/todos los retardos que afectan al proceso de producción, y que hasta ese/momento son inevitables; entre ellos tenemos retardos personales y fatiga. A este respecto, la experiencia demuestra que para la operación de "ensamblado de formas en blanco" y operaciones similares de la compañía en cuestión, los estudios a largo plazo efectuados especialmente, indican que inevitablemente se pierde una de las ocho horas de trabajo del operador, a consecuencia de los retrasos y efectos de la fatiga, y que debe considerársele como tolerancia en el tiempo estándar; quedando únicamente como problema, la forma de prorratear este tiempo. A continuación se muestran tres procedimientos equivalentes y aceptables para la distribución, en forma proporcional, de esos 60 minutos:

1. $TN + \dfrac{\text{Minutos no utilizables del operador en un día de trabajo}}{\text{Número de piezas que el operador puede producir en un día de trabajo, trabajando a ritmo normal}}$ – tiempo estándar

Aplicando esto a nuestro problema, tenemos:

$$0.55 \text{ min/pieza} + \frac{60 \text{ min/día}}{\left(\frac{480-60}{0.55}\right) \text{pzs/día}} = 0.55 \text{ min/pieza} + \frac{60 \text{ min}}{764 \text{ pzs}}$$

$$= 0.55 \text{ min/pieza} + 0.08 \text{ min/pieza}$$

$$= 0.63 \text{ min/pieza.}$$

2. $\dfrac{\text{Tiempo total, en minutos, en un día de trabajo}}{\text{Número de piezas que el operador puede producir en un día de trabajo, trabajando a ritmo normal}}$ = tiempo estándar.

Para nuestro problema, obtenemos:

$$\frac{480 \text{ min/día}}{\left(\frac{480-60}{0.55}\right) \text{pzs/día}} = \frac{480 \text{ min/día}}{764 \text{ pzs/día}} = 0.63 \text{ min/pieza.}$$

3. $TN + TN \left(\dfrac{\text{La relación del tiempo indisponible}}{\text{al disponible para la producción}}\right)$ = tiempo estándar

Lo que para nuestro problema nos conduce a:

$$0.55 + 0.55\left(\frac{60}{480-60}\right) = 0.55 + 0.55(0.143)$$

$$= 0.55 + 0.08$$

$$= 0.63 \text{ min/pieza.}$$

Parece ser que la forma más común de expresar las tolerancias, es la de porcentaje, el cual indica la cantidad en que debe incrementarse el tiempo normal, a fin de tomar en cuenta los factores retardatorios y de interferencia, que estén más allá del control del operador. Por este motivo, es frecuente oír: "la tolerancia por fatiga es *W* por ciento; por retrasos inevitables, *X* por ciento; por retrasos personales, *Y* por ciento; y la tolerancia total para el trabajo *Z* por ciento". Por lo mismo, lo probable es que ésta sea la razón de que el tercer método resulte el más ampliamente aplicado. Deberá notarse que en el método 3, la tolerancia fue de 14.3 por ciento, por lo que el tiempo normal de 0.55 minutos debe incrementarse en 0.55 X 0.143, y lo más importante es que la cifra 0.143 se calculó a partir de 60/(480 — 60) y no de 60/480. (Si, como es lo usual, este porcentaje debe aplicarse al tiempo normal, en el que no se consideran las tolerancias por retraso y fatiga, entonces la base para determinar ese porcentaje, debería ser equivalente.) En la parte inferior de la figura 77 se hacen las consideraciones respecto a la tolerancia para el estudio de tiempos del "ensamblado de formas en blanco"; asimismo, se muestran los cálculos abreviados para el tiempo normal.

En el caso de que un elemento de la operación sea especialmente agobiante, la tolerancia será diferente para los distintos elementos; en cuyo

caso, la tolerancia debe aplicarse por separado a cada uno de los tiempos normales elementales, en vez de al tiempo normal para el ciclo.

Estimación de la tolerancia en retrasos

Estimar las tolerancias es, de ordinario, un proceso independiente del estudio de tiempos por el método de parar y observar; además, el proceso se aplica simultáneamente a grupos completos de operaciones que, para esta finalidad, pueden considerarse semejantes; por ejemplo, todas las operaciones de un cierto tipo, todas las operaciones de un departamento dado y así sucesivamente. En la práctica, existen diversas maneras para determinar las tolerancias, algunas de las cuales con bastante frecuencia resultan insatisfactorias.

Las tolerancias para los retrasos inevitables en cualquier proceso productivo se establecen, algunas veces, según la política general de la compañía, mediante un acuerdo colectivo, o por procedimientos semejantes que conduzcan a tolerancias por retraso más o menos uniformes, para todos los tiempos estándar de la empresa. Con el fin de hacer algunas consideraciones al respecto, tomemos como ejemplo una compañía que, de acuerdo con su política, estipula un 10 por ciento de tolerancia por retrasos inevitables, en todos sus tiempos estándar. En estas condiciones, es difícil esperar que las tolerancias citadas sean representativas de una gran porción de las operaciones realizadas en la planta, ya que la magnitud y frecuencia de los retrasos varían considerablemente con el tipo de operación y las condiciones que le rodean. Así, si en determinado departamento de esta compañía el equipo es relativamente nuevo, las diversas operaciones son razonablemente independientes entre ellas, y la supervisión es excelente, etc., podría resultar adecuada una tolerancia de 5 por ciento por retrasos inevitables; por el contarrio, en otro departamento, en el que las condiciones sean completamente diferentes, una concesión del 20 por ciento respecto a las tolerancias por retrasos inevitables, puede resultar la indicada; lo que permite comprobar que el 10 por ciento citado inicialmente no es representativo en ninguno de los casos.

Lo conveniente, en cualquier caso, es que las tolerancias se apeguen a las condiciones reales de la operación, respecto a la cual se pretende establecer un tiempo estándar. Para realizar esto, es necesario estimar las tolerancias por retraso apropiadas, para cada conjunto de circunstancias diferentes; procurando siempre no caer en los extremos usuales de pretender establecer un sistema uniforme de tolerancias para toda la compañía, o pretender hacerlo para cada operación de la misma. Lo indicado es hacerlo para los conjuntos o grupos de operaciones que sean esencialmente homogéneas en lo que respecta a las tolerancias por retrasos inevitables. Los métodos más ampliamente difundidos para la estimación de las tolerancias, son dos, a saber: el estudio de la producción (o estudio de las interrupciones) y la relación-retraso (estudio de muestreo del trabajo) ; ambos requieren estudios

prolongados de la actividad de producción, y ordinariamente necesitan, cuando menos, un día de trabajo.

El estudio de la producción consiste en una observación continua durante un período más o menos largo, en el que se miden y registran los tiempos requeridos por el operador para todas sus actividades, y como ejemplo, valga el siguiente caso: al final de un estudio de la producción, un registro de los datos recopilados indica que de los 480 minutos que duró la observación, 440 fueron utilizados efectivamente por la función productiva del operador, siendo el resto el tiempo requerido por los retrasos inevitables. Con base en este estudio de la producción, observado durante un día, la tolerancia por retrasos inevitables en esta operación, se estima que puede representarse así:

$$\text{JQQ} \quad \frac{40 \text{ minutos de retraso inevitables}}{440 \text{ minutos de tiempo disponible para la producción}}$$

o sea, el 9 por ciento.

El estudio relación-retraso, que se presentará bajo otro nombre en un capítulo posterior (como estudio del muestreo del trabajo), implica observaciones intermitentes, por lo común durante una semana, o aún más. Mediante este estudio se obtiene una estimación del tiempo por retrasos inevitables y del tiempo de producción disponible, pudiendo calcularse la tolerancia por retrasos inevitables, en la forma como se hizo anteriormente. Debido a que este tipo de estudio ordinariamente requiere un período mucho mayor que el método anterior, resulta un método superior de muestreo y generalmente se acepta que proporciona estimaciones mucho mejores. La proporción del tiempo requerido por los retrasos, como es aceptado comúnmente, es de naturaleza aleatoria; por lo que un mayor error de muestreo es bastante más probable en un estudio realizado en un día, que cuando se emplea un mayor período de tiempo; y precisamente este hecho es lo que hace más confiable al método de estudio relación-retraso, y que lo haga el método preferido por las compañías en la determinación de las tolerancias en retrasos.

En todo lo que hasta ahora hemos discutido respecto a las tolerancias por retrasos, únicamente nos hemos referido a la producción en sí, siendo un tema completamente diferente las tolerancias por retrasos personales, pues se refieren a una previsión de las necesidades personales legítimas. Es muy probable que este tipo de retrasos no varíe considerablemente de una operación a otra, ni entre los distintos departamentos; por lo tanto, resulta justificado el empleo de un sistema más general para su determinación, soliendo procederse bajo consideración de toda la planta, o con bases tales como la política de la compañía, o acuerdos colectivos. Esto nos permite concluir que, para la compañía que anteriormente citamos como ejemplo, no resulta discutible el que haya fijado un 4 por ciento para retrasos personales en todas las operaciones realizadas por personal masculino, y 6 por ciento para las efectuadas por personal femenino.

Estimación de las tolerancias por fatiga

Todos los métodos conocidos hasta ahora para estimar las toleranrias por fatiga, son igualmente insatisfactorios; por ello, el criterio debe basarse, fundamentalmente, en lo pesado de la operación en estudio. Ante esa situación, lo más recomendable es que la compañía establezca una

Escala para tolerancia por fatiga
compañía XYZ

-- Limpieza

15%-- Materiales ligeros operados manualmente

– Esperar por clientes en un cuarto de herramientas

10% Escribir a máquina

Ensamblar (sentado)

Operar montacargas

5%* Trabajo manual de escritorio

Los valores dados en la escala son únicamente para fines ilustrativos

Figura 78. Una escala simplificada de tolerancias por fatiga, que ilustra acerca del método sugerido para establecer este tipo de tolerancias.

tabla de comparación entre las tolerancias para las distintas operaciones, una de las cuales se muestra en la figura 78, en la que se le da especial importancia a las operaciones más comunes en la planta, y para fijar su posición en la escala, se recurre a toda clase de información objetiva disponible, tanto en el campo de la medicina, como de la psicología, fisiología, y demás investigaciones efectuadas en fatigas industriales.[1] Estos trabajos, comúnmente llamados clave, sirven como puntos de referencia

[1] Como por ejemplo, las únicas investigaciones realizadas hasta ahora respecto a fatiga, trabajo, condiciones de trabajo, etc., efectuadas por el Dr. Lucían Brouha y personal a su cargo en la compañía E. I. DuPont, Laboratorio Haskel.

para fijar las tolerancias por fatiga de las demás actividades en la compañía; y así, una vez terminada la tabla, para fijar la tolerancia por fatiga de un cierto trabajo en particular, lo único que tiene que hacerse, es localizar su posición en la escala, basándose siempre en un criterio sano. Lo mejor que puede decirse de este procedimiento, es que constituye un proceso de criterio racionalmente encauzado, que al mismo tiempo es el medio más satisfactorio para determinar económicamente las tolerancias por fatiga, cuando se presenta la oportunidad de proceder en forma continua durante un período largo. Como comprobación de lo anterior, describiremos algunos de los métodos actualmente en uso, pero menos recomendables.

Algunas compañías tienen tolerancias por fatiga establecidas en forma arbitraria, bien sea según su política, o de acuerdo con convenios obrero-patronales; pudiendo decirse respecto a este procedimiento, que los defectos son los mismos que los citados acerca de la determinación de las tolerancias por retrasos en la producción, cuando se emplea esta práctica; pues si dos de los trabajos realizados en la planta, varían considerablemente en demandas físicas, repetividad, etc., las tolerancias por fatiga deben variar de acuerdo con ello. Conviene aclarar que lo importante es la relación que la compañía marque para las tolerancias por fatiga, no el nivel absoluto que elija como punto de partida; es decir lo importante está en que si se trata de un trabajo el doble de arduo que otro, para el primero se deberá establecer una tolerancia igual al doble de la del segundo.

Algunos autores arguyen que la tolerancia por fatiga para un trabajo determinado, puede conocerse por medio de un estudio prolongado de la tasa de producción, aplicando, por ejemplo, el estudio de la producción. El propósito de este estudio prolongado (cuando menos de un día), es determinar el grado total de disminución de la producción y de la tasa de producción, durante un período de trabajo prolongado, como resultado inequívoco de la fatiga. Sin embargo, estos estudios, también conocidos como de la "disminución de la producción", no conducen a estimaciones satisfactorias acerca de las tolerancias por fatiga, ya que aun cuando en un cierto día el operador muestre una marcada disminución de la producción, ésta no necesariamente es atribuible a la fatiga; aunque, en general, lo más probable es que no haya tendencia marcada a la disminución en la tasa de producción, que no indique que el trabajador ha experimentado fatiga. Además, cuando aumenta la fatiga, el trabajador aumenta su esfuerzo para compensarla, en cuyo caso es probable que conserve su tasa de producción, o cercana, al mismo nivel general durante todo el día, ya que un sentimiento de cansancio no necesariamente refleja una disminución en la tasa de producción del trabajador. Es un hecho que, a través de la experiencia, los trabajadores llegan a saber lo que deben o pueden producir en un día, si se "administran" correctamente durante el mismo, para lo cual el trabajador toma varios refrigerios, algunos de los cuales son principalmente con fines sociales, y otros, con fines de reposo (recuperación de energías). En realidad, el trabajador puede mantener su tasa de producción dentro de un nivel estable, durante todo el día, si distri-

buye en forma estratégica sus refrigerios y descansos, los que en un estudio ordinario de tiempos deberán tomarse como retrasos inevitables. En esta forma, los efectos de la fatiga pueden compensarse mediante un aumento del esfuerzo, refrigerios y descansos, o disminución de la tasa de producción; todos estos factores intervienen en diferentes proporciones. *Unicamente* si la fatiga se reflejase principalmente en la tasa de producción, sería correcto considerar la disminución de la tasa de producción como índice de fatiga.

Es asombroso el número de prácticas extraordinarias a que suele conducir la estimación inadecuada de la tolerancia por fatiga, no siendo raro encontrar fórmulas, gráficas, diagramas, etc., de aspecto más bien misterioso; dan una impresión de objetividad que no existe, debido principalmente a que se basaron en el simple criterio.

Tolerancias especiales

En algunas ocasiones, las tolerancias deben incluir conceptos adicionales a los retrasos y fatigas; por ejemplo, cuando el volumen de producción es muy bajo, en cuyo caso puede haber una "tolerancia por lote pequeño", debido al hecho de que la longitud de una corrida es tan pequeña, que el operador no desarrolla más allá de lo correspondiente al período de aprendizaje. Otro caso se presenta cuando el equipo define el paso del operador, durante parte o todo el ciclo de trabajo; aquí la tolerancia especificada es para que el trabajador "gane" el incentivo en el pago, aun cuando la tasa de producción de la máquina es limitada. (Una práctica inefectiva es pretender ajustar los salarios mediante una modificación del tiempo estándar.) Existen otros tipos de tolerancias, aunque no todos necesarios.

FASE FINAL EN UN ESTUDIO DE TIEMPOS POR EL METODO DE PARA! OBSERVAR: LA PRESE ICION DE LOS RESULTADOS

Unicamente hasta que los altos ejecutivos aprueben los tiempos estándar, éstos surten el efecto deseado; entonces resulta obvio que una buena y clara presentación, de los resultados que facilite la explicación, tanto a la gerencia, como a los trabajadores y sindicato, ayuda al éxito del trabajo desarrollado. Además, como se mencionó antes, simultáneamente con los resultados, deberán presentarse debidamente registrados, tanto el método como las circunstancias en que se basa el estándar establecido.

EJERCICIOS

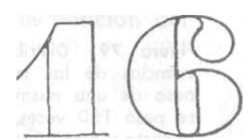
1. En la siguiente figura se muestran los resultados de un estudio de tiempos por el método de parar y observar, para una operación sencilla de maquinado. Para este tipo de operación, se estima que únicamente están disponibles para la producción 405 de los 480 minutos de una jornada de trabajo. Complete los cálculos para determinar el tiempo estándar y el número de piezas por hora estándar.

Hoja de observaciones para estudio de tiempo

Identificación de la operación	*Operación 10, pieza No. 10725A1*		Fecha *7/29*
Hora inicial: *3:22* Hora final: *3:34*	Operador: *1065*	Aprobado	Observador *J. Argensola*

	Descripción del elemento y punto de descomposición o separación		Ciclos 1 (0.00)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Resumen ΣT	$\overline{T}$	RF	NT
1	*colocar la pieza y mover el carro*	T														
		R	.14	.32	.49	.62	.79	.96	7 .11	.28	.45	.59			0.85	
2	*Perforar con diámetro de 21 mm*	T														
		R	1 .06	2 .24	3 .40	4 .54	5 .71	6 .87	8 .03	9 .19	10 .36	11 .52			1.00	
3	*Quitar la pieza y prepararse a hacer los engranes*	T														
		R	.15	.33	.48	.62	.81	.96	.11	.29	.45	.62			1.05	
4		T														
		R														
5		T														
		R														
6		T														
		R														
7		T														
		R														
8		T														
		R														
9		T														
		R														
10		T														
		R														

Tiempo normal del ciclo______ + Tolerancia__________ = Tiempo estándar_____ *min/pza.*



Evaluación y mejora de estudios de tiempo por el método de parar y observar

ERRORES EN LOS SISTEMAS DE MEDICION

A fin de que resulte fructífero nuestro análisis detallado acerca del estudio de tiempos por el método de parar y observar, errores en el mismo, y reducción de éstos, es altamente recomendable un ligero repaso acerca de las características generales de los errores y de los sistemas de medición.

Dos tipos de error

En cualquier tipo de medición, el constituido por el reloj y su usuario, por ejemplo, podemos distinguir dos tipos de error, a saber: uno, constante (sesgos, o tendencias) y otro, variable (casual); y como medio para fijar las ideas respécto a estos dos tipos, valga la situación en que se pesan dos muestras mediante una balanza sensible, a fin de analizarlas. En tal caso, el sistema está formado por la balanza y el analista y, como ocurre en casi todos los sistemas de medición, son los únicos contribuyentes al error de las mediciones hechas.

El error variable. Este tipo de error puede aislarse en el proceso de pesado de las muestras, pesando varias veces una *misma* muestra, preferentemente, sin que el analista se dé cuenta de esto último. Procediendo según este criterio, se efectuaron 150 mediciones en el proceso de pesado, para una misma muestra, obteniéndose una distribución de frecuencias para los pesos, como se ilustra en la figura 79. En este ejemplo, se empleó al mismo analista y a la misma balanza para efectuar las 1 5 0 pesadas; en cuyo

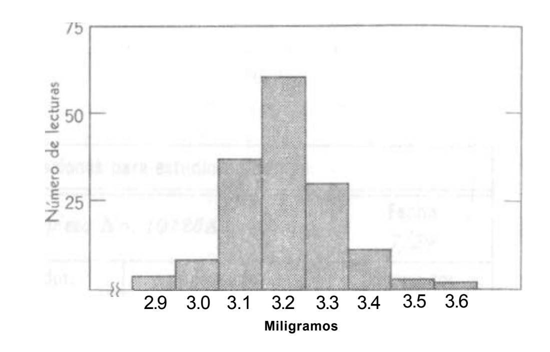


Figura 79. Distribución de frecuencias de las lecturas para el oeso de una misma muestra que te pesó 150 veces, por el mismo analista y empleando la misma balanza.

caso, al ser el mismo sistema para cada una de las mediciones, la única fuente de variación en las lecturas es el sistema mismo.

Como en todos los sistemas de medición, aquí puede apreciarse que el propio sistema contribuye a la variación de los resultados que proporciona, siendo *aleatoria* la forma en que varía el error en cada medición, tanto en magnitud como en dirección (positivo o negativo), con respecto a la inmediata anterior.

El error variable suele considerarse como un índice de la precisión del sistema de medición; pudiendo aclararse fácilmente el concepto de medición, mediante los blancos empleados en pruebas y concursos de tiro. Supongamos que dos tiradores disparan cierto número de veces, y que los impactos correspondientes son los mostrados en la figura 80; pudiendo apreciarse que el tirador *B* es más preciso en sus disparos, que el *A*.

Exactitud, sesgos y error constante. A pesar de que los dos tiradores tienen distinta precisión en sus disparos, ambos muestran una tendencia a disparar a la derecha del centro del blanco; es precisamente esa tenden-

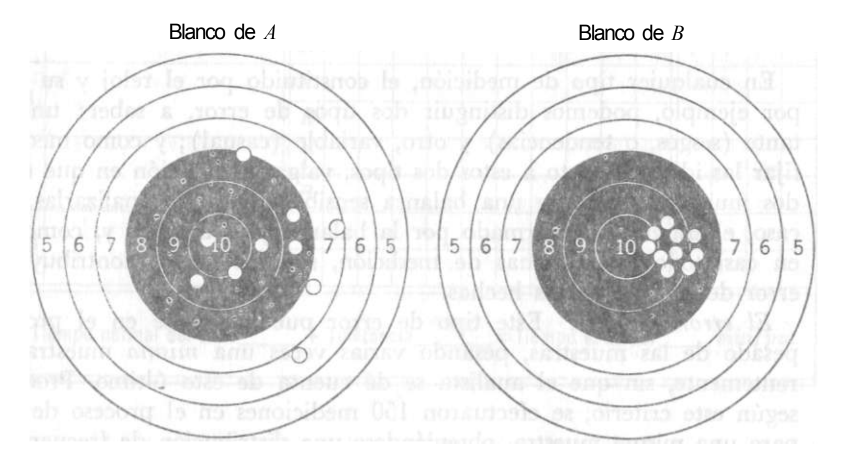
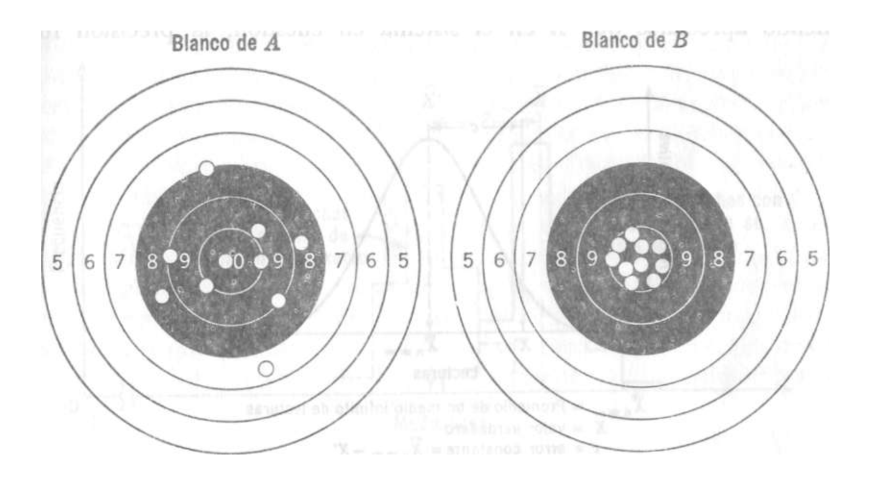


Figura 80. El tirador B parece ser más preciso que el A. (Información tomada de Chapanis, Garner, y Morgan, Applied Experimental Psychology, John Wiley and Sons, Nueva York, 1949, con permiso de los editores.)

cia lo que se conoce como sesgo o error constante. Si cada uno de los tiradores corrigiese la mira de su fusil, estaría en condición de proporcionar un "promedio" de sus disparos al blanco, tal y como se ilustra en la figura 81.

Ajustando la mira, cada tirador altera sus disparos en una cantidad constante, que es la distancia entre el centro del blanco y la posición del



Figuro 81. La serie de disparos mostrada en la figura 80, después de haber eliminado el error constante. (Información tomada de Chapanis, Garner, y Morgan, Applied Experimental Psychology, John Wiley and Sons, Nueva York, 1949, con permiso de los editores.)

"disparo promedio", conforme a lo mostrado en la figura 80. La descripción anterior permite una fácil comprensión del concepto de exactitud; ya que en cualquier sistema, como el formado por el tirador y el fusil, siempre podemos distinguir, para cada medición, una cantidad de error fija y una variable o, dicho en otras palabras, muy rara vez puede "centrarse" el sistema en el valor correcto o verdadero. Este tipo de error frecuentemente se conoce como sesgo, y el grado en que un sistema está sesgado suele definirse como la exactitud del mismo.

Los dos tipos de error, entonces, son:

c, que es un error constante, como sesgos; que representa a un error constante, presente en cualquier medición efectuada por el sistema, y

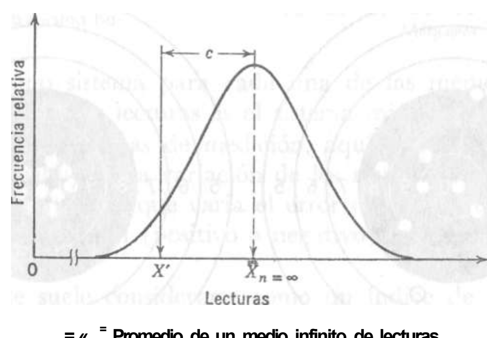
v, un error variable, con variabilidad aleatoria, de una medición a otra medición cualquiera.

Por tanto, la cantidad medida (X_m), representativa de una cantidad real *X,* puede expresarse en la siguiente forma:

$$X_m = X + c + v.$$

Determinación y estimación de la exactitud

La exactitud no puede determinarse tan fácilmente como la precisión; sin embargo, como ésta, nunca se *conoce* realmente, ni es *determinada* sino que únicamente se *estima* lo mejor que sea posible. Para tratar este tema, regresaremos al ejemplo respecto al pesado de muestras para pruebas: pudiendo apreciarse que *si* en el sistema en cuestión, la precisión fuese



$X_{n=\infty}$ = Promedio de un medio infinito de lecturas
X' = valor verdadero
c = error constante = $X_{n=\infty} - X'$

Figura 82. Determinación de la exactitud (error constante o sesgos), para un caso hipotético.

perfecta, o lo que es equivalente, el sistema no tuviese ninguna contribución a las variaciones en las mediciones, para definir la exactitud, lo único que sería necesario hacer es medir la libra patrón (la que se conserva en el Departamento de Pesas y Medidas), o cualquier reproducción de la misma, una sola vez, y apreciar la desviación con respecto a la lectura de una libra; se obtiene así la exactitud de nuestro sistema. Sin embargo, todos los sistemas de medición manifiestan una variación al azar en los resultados que proporciona la que, indiscutiblemente, deberá superponerse al error constante. De esta manera, siempre se introduce un error de muestreo y para obtener una estimación satisfactoria de la exactitud de nuestro sistema para pesar, será necesario pesar un cierto número de veces a la libra patrón. Ahora bien, si quisiésemos *determinar* (en el sentido correcto de la palabra) la exactitud, el error de muestreo nos obligaría a que el número de pesadas fuese infinito, a fin de que se conociese su valor verdadero; en cuyas circunstancias, los sesgos del sistema estarían dados por la diferencia entre el valor verdadero (X') y la media de un número infinito de mediciones es decir:

$$c = \text{error constante} = X_{n=\infty} - X'$$

En la figura 82 se ilustra la manera de determinar la exactitud de un sistema igual al considerado en nuestro caso hipotético.

La imposibilidad de obtener un número infinito de lecturas no es el único obstáculo para determinar la exactitud, sino que, además, necesitaríanios un segundo sistema de medición que no tuviese sesgos, con el cual pudiésemos determinar el valor verdadero X' de la cantidad por medir.[1] Sin embargo, no existe un sistema de medición que esté absolutamente libre de sesgos; por lo que, en la práctica, la exactitud se determina de la siguiente manera:



Figura 83. Estimación de la exactitud para un caso hipotético.

1. Obténgase una cantidad "conocida", la cual es, o un estándar arbitrariamente establecido, como el kilogramo o la libra, o una cantidad que se ha estimado por lo que se cree que es un sistema de medición más exacto que el que se está evaluando. Puesto que esto último no es más^que una estimación del valor verdadero X', lo representaremos mediante X', y se basa en un número finito, pero substancial de mediciones, como se muestra en la figura 83.

„ 2. Hacer un número finito de mediciones de esta cantidad "conocida" X' empleando el sistema que se desea evaluar, y la media de estas mediciones, que se representa con X, es una estimación de $X_{n=x}$

3. Con los resultados de los pasos anteriores se obtiene suficiente información para estimar la exactitud del sistema, la que está dada por:

$$c - X - X'.$$

En la figura 83 se ilustra el método para estimar la exactitud para un sistema de medición en un caso hipotético.

[1] Este sistema sin sesgos no es necesario si el objeto a ser medido es un estándar rbitrario original, como ocurre en el caso del pie o de la libra, pero rara vez es ctible esta posibilidad para fines prácticos.

Resumen respecto *a* la exactitud y la precisión

La precisión de un sistema de medición puede describirse como la medida de la variación casual (error al azar) en las mediciones que dicho sistema proporciona; o bien, el grado hasta el cual un sistema de medición puede reproducir la medición de una cantidad dada; cuantitativamente, la precisión se expresa en términos de la varianza (a^2) de un conjunto de mediciones repetidas de la misma cantidad. La exactitud, por su parte, describe el grado en que un sistema de medición está sesgado y representa el error constante del sistema; es decir, el grado en que la media de un número infinito de mediciones de una cantidad difiere del valor verdadero.

Cualquier medición efectuada con un sistema, está afectada por la exactitud y precisión del mismo; diferiendo de su valor verdadero o real, en una cantidad, parte de la cual es la misma para cualquier medición hecha con ese sistema, y el resto es una cantidad variable, de manera que $X_m = X + c + v$. Para cualquier cuantificación que ordinariamente desea hacerse, se emplea el valor medido X_m de la cantidad en cuestión y no su valor real.

Acumulación de los errores en un sistema de medición

En general, los sistemas de medición constan de tres elementos principales, a saber:

1. *Mecanismo sensitivo* (sensor), mediante el cual el sistema determina los límites de la cantidad medida. Por ejemplo, en mediciones de tiempos deberán detectarse el principio y el fin del evento, pudiendo emplearse para tal fin diversos aditamentos, que dependen del método empleado; así, en estudios de tiempos por parar y observar, el observador funge como sensor; en un sistema automático para medir tiempos, como mecanismo sensor puede emplearse un mecanismo con circuito fotoeléctrico, un microinterruptor, etc. Cuando se emplea un micrómetro para medir las dimensiones de una pieza cualquiera, el sensor está constituido por las quijadas del micrómetro.
2. *Mecanismo traductor,* por medio del cual las cantidades detectadas automáticamente se convierten en unidades de medición equivalentes. En mediciones de tiempo, por ejemplo, el intervalo medido automáticamente se traduce a segundos, minutos, etc., lo cual se efectúa mediante un reloj, un medidor de tiempos electrónico, o mecanismos similares. En la medición de longitudes mediante reglas o micrómetros, escalas en ellos adjuntas, automáticamente traducen las medidas a centímetros, pulgadas, etcétera.
3. *Dispositivo de información.* Una vez que el mecanismo traductor ha transformado la cantidad detectada a las unidades de medición desea-

das, esta información deberá ser proporcionada al exterior, por lo que se conoce como dispositivo de información. En un estudio de tiempo ordinario, por el método de parar y observar, la información se obtiene con sólo leer el reloj. En un sistema automático de medición de tiempos, el dispositivo de información puede ser una máquina que imprima los resultados finales en una cinta de papel. En el caso de una regla, el proceso se efectúa mediante una simple lectura.

Cada uno de estos elementos contribuye parcialmente a los sesgos y variaciones casuales de las mediciones, conduciendo al error total del sistema. Si con c_s, c_j, y c_r, respectivamente, representamos los errores propios del elemento sensor, traductor e informador, los sesgos netos del sistema estarán dados por la suma algebraica de estos errores constantes, o sesgos individuales; por lo tanto:

$$c — c_s + c, + c_r,$$

en donde cualquier *c* puede ser positiva o negativa. Esto se aplica, a la acumulación de los sesgos en cualquier sistema, pudiendo observarse que los sesgos totales del sistema *pueden* llegar a ser menores que los de alguno o algunos de los componentes, debido a la compensación parcial entre ellos. Desgraciadamente, la situación inversa no es verdadera.

Respecto a la acumulación de los errores variables, el procedimiento es diferente, ya que si se usa la varianza como un índice de precisión, la varianza total del sistema estará dada por la suma de las varianzas de los elementos componentes, siempre y cuando los errores variables sean mutuamente independientes. En tal caso, la precisión del sistema está dada por

$$\text{Sistema} = ff_s^2 + C,^2 + C_r^2$$

la varianza de las *observaciones* es:

$$<7_0^2 = ff^2 + Os + O",^2 + OV^2$$

en donde a^2 es la varianza de la variable misma. Si los errores variables de algunos o todos los elementos componentes están correlacionados, la varianza del sistema se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$\hat{}\text{sistema} = <7_s^2 + <r,^2 + c_r^2 + 2p_s(cr_s crt + 2p\, srCsffr + 2p_{ir} cr,ov$$

en donde p es el coeficiente de correlación entre los errores variables respectivos, de los componentes del sistema. Sin embargo, la experiencia demuestra que el grado de correlación entre dos errores variables rara vez es digno de tomarse en cuenta.

Reducción del error

La principal dificultad que presenta mejorar la exactitud de un sistema, radica en la obtención de una estimación cuantitativa de los sesgos;

pero una vez que esto se ha logrado, la corrección es relativamente simple, ya que para hacerla bastaría un pequeño ajuste del sistema; por ejemplo, corregir los adelantos o atrasos, en el caso de un reloj; ajustar la mira, en el caso del fusil; o bien, compensar las lecturas después que hayan sido hechas, como suele ser el caso de algunos fabricantes de termómetros finos, que marcan la corrección que debe hacerse a cada lectura de la temperatura. De esta manera, los sesgos estimados para el sistema pueden

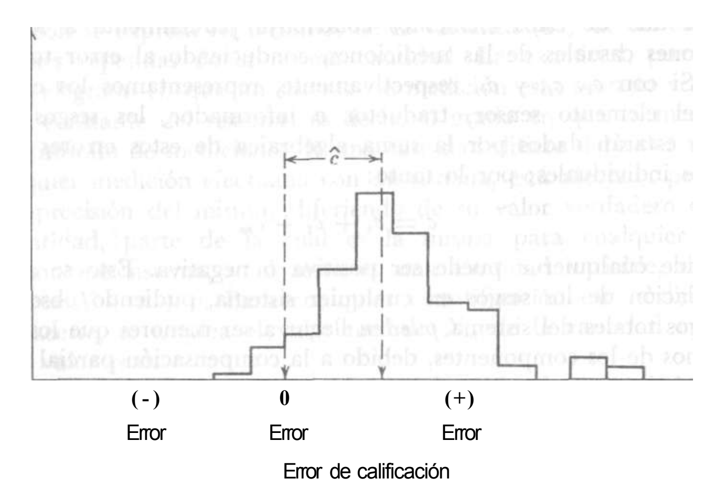


Figura 84. Distribución de los errores de calificación estimados, registrados por un cierto calificador.

compensarse, bien sea ajusfando al sistema mismo (calibrándolo), o ajusfando las lecturas, sin que para ello se requiera una erogación considerable.

La manera en que puede hacerse una reducción de los sesgos, se ilustra en forma más objetiva mediante un ejemplo. Supongamos que el histograma registrado para los errores estimados en un estudio de tiempos para un cierto número de operaciones, es como aparece en la figura 84. Bajo estas circunstancias, podemos mejorar la situación de dos diferentes maneras; una, consistiría en informar al calificador acerca del registro obtenido, sugiriéndole que trate de corregir sus sesgos o tendencias mostrados, a la hora de calificar; o bien, dejarlo que proceda en la forma por él acostumbrada y después corregir sus resultados, sumando, o restando, una cantidad *c* a sus calificaciones. (Para un calificador en particular, la cantidad *c* siempre se sumará o restará, según sea el signo de sus sesgos.) Parece ser que para fines prácticos la primer solución propuesta es más recomendable.

Es muy importante que el lector tenga presente que los sesgos no pueden corregirse tomando lecturas adicionales, como suele ser la práctica común, ya que el error, para un sistema dado, es independiente del tamaño de la muestra; es decir, del número de lecturas que se hagan. Además, cuando se pretende corregir el sesgo de uno de los elementos de un sistema, suele

ocurrir que se *incremente* el sesgo neto de todo el sistema; para fijar las ideas al respecto, basta el siguiente ejemplo. Si los sesgos para los tres elementos de un sistema dado son, respectivamente, + 2, — 3 y + 2, lo que da un sesgo neto para el sistema de + 1, y si reducimos los sesgos del segundo elemento, de — 3 a — 1, los sesgos netos se habrán incrementado a + 3. Por consiguiente, antes de pretender corregir los sesgos de un elemento cualquiera de un sistema dado, deberá analizarse el efecto que tal corrección tiene sobre el sistema total.

En lo que respecta a la precisión, suele presentarse un caso opuesto a lo dicho acerca de la exactitud, ya que para la corrección del error en la primera, lo difícil está en la reducción del error, no en la estimación cuantitativa del mismo. Esto se debe a que los errores variables de un elemento mecánico cualquiera en un sistema de medición, se deben a características físicas tales como calidad del sistema de soporte, holguras, susceptibilidad a los cambios atmosféricos, calidad de la mano de obra empleada en su elaboración y ajustes, etc., etc. No es raro que en el caso de la corrección del error de la precisión, la única solución sea comprar un mecanismo mucho más caro y substituirlo por el actualmente en uso. Tocante el elemento humano, la mayoría de los errores inherentes a él, ya clasificados antes como variables, trascienden al error de la precisión; no siendo raro que el analista llegue a la penosa conclusión de que la solución está en el reemplazo de la persona.

Frecuentemente resulta más económico tomar lecturas adicionales, que permitan reducir el efecto del error variable, más bien que pretender corregir la fuente de dicho error; ya que las dos consecuencias anteriormente citadas acerca de un error variable, objetable, implican gastos considerables, derivados de pretender corregir el error para mejorar la exactitud.

El problema implícito en todo intento de mejorar la precisión se ilustra claramente mediante el estudio de tiempos para el caso mostrado en la figura 84. Si se considera objetable el error variable de este calificador, como parece indicarlo la figura, lo único que podemos hacer para mejorar la situación es cambiar a la persona, o dejarla que aumente su experiencia, para que así disminuya la variación de sus estimaciones. En este punto es sumamente importante hacer hincapié en lo inútil e insensato que resulta creer que, si ponemos a esta persona a hacer estudios de tiempo repetidos, para fijar un tiempo estándar, corrija sus errores en la estimación de calificaciones; ya que, por una parte, esto resulta sumamente caro y, por otra, todas sus observaciones estarán estrechamente correlacionadas con el primer valor que él haya obtenido.

Resumen respecto al error

De acuerdo con lo establecido anteriormente, deberá tenerse presente que los conceptos de precisión y exactitud son relativos; es decir, carece de sentido decir que un determinado sistema es "exacto" o "inexacto",

"preciso" o "no preciso"; ya que lo que realmente da a entender una persona con la expresión "inexacto", es únicamente uno de un amplio rango de grados en los sesgos, el cual depende, indiscutiblemente, de su habilidad para juzgar la exactitud, y de la severidad de los estándares que él utiliza para ello. Aún más claro, es frecuente que en diferentes situaciones se requiera el uso de un mismo sistema de medición; pero en una de ellas, resulta satisfactorio (en cuyo caso se le califica como "exacto"), mientras que en la otra no resulta así (y en tal caso se le describirá como "inexacto"). Esto permite concluir que sin una referencia que permita cuantificar a lo connotado por "inexacto", y descripciones igualmente vagas del error de un sistema, carece de sentido la información que de ello podríamos esperar.

El lector deberá estar alerta respecto a la confusión, que la mayoría de los autores hacen de los conceptos de exactitud y precisión; ya que suelen emplearlos sin distinción alguna, por lo que no es raro que los intercambien. Parece que la mayoría de los autores en la especialidad de estudios de tiempos están confundidos a ese respecto, siendo más común que el error de usar a la exactitud como sinónimo de precisión.

CONSIDERACIONES GENERALES ACERCA DEL ESTUDIO DE TIEMPOS POR EL METODO DE PARAR Y OBSERVAR

Es evidente que los sistemas de medición son de naturaleza aleatoria y, consecuentemente, erráticos; es por eso que conviene mencionar algunas fuentes de error y las recomendaciones pertinentes para reducir este último.

A continuación se mencionan algunas de las fuentes de error, en las que el lector, por sí solo, no tiene gran trascendencia y que, por lo mismo, no merecen mayor consideración.

1. *La calificación requerida para determinar un tiempo normal.* La forma en que el calificador llega a un factor de calificación es más bien un proceso de criterio; por lo tanto, resulta errático en naturaleza, e insensible aun en su forma más simple, por no decir nada de lo que ocurre cuando al calificador se le permite tomar en consideración variables adicionales tales como el volumen de producción, lo fatigoso del trabajo en cuestión, y la desviación del método. Posteriormente, atendiendo al papel tan importante que desempeña, discutiremos el proceso de calificación, en todos sus detalles.
2. *La tolerancia por fatiga.* Infortunadamente, hasta ahora únicamente puede estimarse por medios relativamente imperfectos.
3. *La tolerancia por retrasos.* Aun cuando se dispone de medios razonables para su estimación, en la práctica no suelen aplicarse, por lo que aún parecen predominar los métodos relativamente burdos.
4. *Consideración múltiple de ciertos factores.* Por ejemplo, la naturaleza fatigosa de una cierta operación suele tomarse en cuenta durante la calificación y en la tolerancia.

5. *Descartar arbitrariamente los tiempos observados.* Algunas veces se descartan algunos de los tiempos registrados, por la sencilla razón de que al observador "no le representan aspectos característicos". Esto, naturalmente, lo único que hace es conducir a otro elemento subjetivo en el proceso de estudio de tiempos.

6. *"Puntos ciegos".* Un ejemplo de un punto ciego es un retraso que, aun cuando es de corta duración, ocurre con mucha frecuencia y que se ignora, tanto en el estudio de tiempos, como en el estudio prolongado de retrasos, como el estudio relación-retraso.

7. *"Trabajo retroactivo".* A menudo, un trabajo se realiza con el único fin de comprobar una respuesta a la que haya llegado el analista en el estudio de tiempos, antes de que se empiecen a hacer las mediciones de tiempo para la operación correspondiente. Este resultado suele proporcionarlo el analista, con base en su experiencia; en cuyo caso, el trabajo se realiza con el único fin de justificar sus honorarios.

8. *Otras violaciones inadvertidas, por cierto muy numerosas y que por lo tanto no se mencionan.*

A pesar del panorama que presentan estas imperfecciones, tanto el estudiante como el especialista y el practicante, deben conservar un punto de vista imparcial y que se apegue a la realidad, bastando para ello que recuerden que éste es un campo de mediciones bastante difícil, caracterizado por:

1. La fuerte presión ejercida por los intereses, normalmente en conflicto, de la compañía y del sindicato; ya que la gerencia siempre hace todo lo posible por abatir los costos por mano de obra, mientras que los trabajadores hacen todo lo posible por aumentar su salario, debido a esto, el pobre especialista en estudios de tiempos siempre está entre la espada y la pared. De todo ello se comprende lo difícil que resulta permanecer siempre en un plano práctico e imparcial; aunque hay que advertir, y solamente para pequeño estímulo del analista, que ésta no suele ser la situación en mediciones rutinarias usuales.

2. La falta de habilidad para aplicar "un factor de seguridad", o su equivalente, a las mediciones realizadas. Pocas son las situaciones que pueden encontrarse como semejantes en este aspecto. En algunas especialidades de la ingeniería se tienen "factores de seguridad" liberales, los que se aplican posteriormente a resultados cuidadosamente elaborados y calculados, para así disfrazar las chapucerías y errores en los cálculos. Sin embargo, esto no es factible en mediciones del trabajo, ya que existe algo que "marca su error" al analista que está realizando el estudio de tiempos, cualquiera que sea la dirección de aquél. En forma bastante ingeniosa, William Gomberg describe esta situación en los siguientes términos:

Todos los ingenieros tienen sus problemas, pero ninguno como éste: Si el Ingeniero Civil desea saber lo que realmente es un Ingeniero de estudios de tiempo, podemos imaginárnoslo escudriñando una noche de brujas, negra y misteriosa, en la que los espíritus, animados e inanimados, andan sueltos. Entre ellos viene el puente,

que es su orgullo y alegría, que cruza un río majestuoso, y que se dirige a él en los siguientes términos: "Oye" tonto, ¿sabías que podía haber resistido y soportado esas cargas, si tan sólo hubieras empleado una cuarta parte del tonelaje de acero que mis pobres pilas necesitan para seguir de pie?" Esta es una de las muchas experiencias diarias del analista en estudios de tiempo.[2]

3. Cambios inconscientes y virtualmente automáticos en la rapidez del trabajo y en el método, siempre que se intenta una medición.

4. Una variabilidad mucho mayor de la que usualmente se encuentra en la medición de fenómenos tísicos.

5. Una cantidad por medir de naturaleza elusiva y difícil de cuantificai.

6. Una unidad de medición, el minuto, que es difícil de comunicar y elástica en su uso, algo así como una escala para medir, elástica.

7. Restricciones muy neveras impuestas por los convenios obrero-patronales, tanto pasados como actuales, respecto a los métodos que deben emplearse para establecer los estándares, y a los resultados que pueden combinarse, una vez que hayan sido establecidos.

También deberá tenerse presente que las estimaciones de tiempos deberán proporcionarse independientemente de las imperfecciones propias del método que se haya empleado para obtenerlas. Ante la necesidad imperiosa de los tiempos estándar, para el buen éxito de la operación en una empresa manufacturera, *deberán* obtenerse de alguna manera. Sin embargo, la elección no irá a hacerse entre métodos que claramente pueden separarse en perfectos e imperfectos: sino que deberá elegirse de un conjunto de posibilidades, todas ellas imperfectas, ya que todas las técnicas actualmente disponibles adolecen de defectos y cualquiera de ellas siempre deja algo que desear; 3ĺn embargo, puesto que alguna de ellas debe ser elegida, se *tomará* la elección que parezca más indicada para las circunstancias en cuestión.

El observador casual de este campo, deberá procurar no caer en dos puntos de vista extremos, el primero de los cuales consiste en ser demasiado académico y condenar, sin bases reales, a todo este campo, únicamente por las imperfecciones que manifiesta, y el otro, significa comportarse continuamente como elemento receptor, y permanecer ingenuamente inconsciente de todas las controversias, imperfecciones, trampas e hipótesis discutibles en que se basa el estudio. Es por esto que el estudiante debe estar alerta para que no lo desvíen demasiado en ninguna dirección, cosa que ocurre muy frecuentemente, aun entre autores y eruditos en este campo. Algunos han pretendido mostrar este método como "científico" (aunque probablemente muy pocos lleguen a creer tal cosa); otros, especialmente escritores de campos afines, llegan demasiado lejos en la dirección hipercrítica.

[2] William Gomberg, *A Trade Union Analysis of Time Study,* 2a. edición, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1955. Reproducción con permiso de los editores.

ALGUNOS MEDIOS PARA MEJORAR LA TECNICA DE ESTUDIO DE TIEMPOS POR EL METODO DE PARAR Y OBSERVAR

Es innegable que los resultados ordinariamente obtenidos por medio de un estudio de tiempos de parar y observar, dejan mucho que desear, y puesto que las deficiencias y objeciones a esta técnica ya han sido ampliamente discutidas.[3] no es necesario hablar acerca de este asunto; por otra parte, nuestro interés no está en demostrar que el error existe, como pueden testificarlo los practicantes ordinarios, sino en sugerir la forma en que puede mejorarse el método, admitiendo de antemano que es natural que en cualquier etapa de un estudio de tiempos aún puede hacerse mucho para mejorarla.

Mejoras a los métodos de medición de tiempos

Aparentemente, es paradójico que un estudio de tiempos implique, en sí mismo, tal cantidad de trabajo, y su carácter manual lo hace resultar relativamente costoso. Además, es realmente difícil encontrar un departamento de estudio de tiempos que no tenga una gran cantidad de trabajo atrasado, relativo a estándares por determinar. Las presiones resultantes en el departamento conducen a resultados más pobres y a retrasos indeseables en la consecusión de los estándares para las distintas operaciones; en cuyo caso parecería que el departamento de estudio de tiempos debería mejorar sus servicios y con ello, los costos y la calidad de los trabajos que proporciona. Ante esto, automáticamente surge la pregunta: ¿Cómo mejorar la productividad de un departamento de estudio de tiempos y cuáles son los medios para ello? En primer lugar, conviene emplear el menor número posible de personal especializado, para lo cual se aconseja que como auxiliares de los observadores altamente especializados se usen a los empleados de las oficinas, a fin de que realicen todas las actividades rutinarias que requieran poco, o nada, de conocimientos especiales. Otra muy buena recomendación es que se disponga del mayor número de "auxiliares de cálculo", tales como tablas, gráficas, cartas de alineación, etc., a fin de reducir a un mínimo el tiempo requerido para los cálculos. Otro medio posible para incrementar la productividad del departamento de estudio de tiempos, consiste en tratar de mecanizar lo más posible los procesos realizados; sin embargo, esta última recomendación requiere una discusión posterior, a fin de fijar ideas a este respecto.

Mecanización del estudio de tiempos de parar y observar. Una gran parte de las actividades que requieren de bastante tiempo, en un estudio

[3] Véase, por ejemplo, William Gomberg, *A Trade Union Analysis of Time Study,* 2a. edición. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1955; o H. O. Davidson, *The Functions and Bases of Time Standards,* A.I.I.E., Nueva York, 1957.

de tiempos, pueden efectuarse automáticamente mediante el uso de computadoras electrónicas; y como puede apreciarse en la tabla 9, la ventaja de este método, con respecto al tradicional, es considerable.

Podrá observarse que en el sistema automático, los datos se proporcionan en forma de tarjetas o cintas perforadas, las que a su vez constituyen

TABLA 9

Comparación del método convencional manual y del método electrónico, para recopilar y procesar datos sobre tiempos

Fase	Método manual Estudio de tiempos convencional de parar y observar	Automático * (electrónico)
Compilación de los tiempos		
1. Detección del principio y final de la actividad en estudio.	Visual.	Microinterruptor, celda fotoeléctrica, etc.
2. *Medición de los tiempos.*	Parar y observar.	Medidor electrónico (un tiempo base, "puerta" y contador).
3. *Información.* (Transmisión de las observaciones a algún medio de memorización.)	Lectura visual del reloj, y registro manual en la hoja de observación.	Tarjetas perforadas, cinta perforada, o cinta magnética.
Procesado de los tiempos.	Manual.	Mediante la computadora, directamente de la cinta o tarjetas, o mediante tabulación de las tarjetas perforadas.

* Desafortunadamente, el aspecto automático no puede incluir el proceso de calificación del desempeño del operador.

el medio de información para el procesado de datos, que es la característica de un sistema automático de determinación de tiempos; a continuación describiremos dos de los métodos factibles para la mecanización del proceso de estudio de tiempos, el primero de los cuales es de naturaleza predominantemente electromecánica, mientras que el segundo es fundamentalmente electrónico.

Como ejemplo del sistema electrónico citaremos el dispositivo WETARFAC (siglas de Work Element Timer and Recorder for Automatic Computing), actualmente en uso por la R. R. Donnelley and Sons Company de Chicago, con fines de estudio de tiempos. Como se muestra en la figura 85, consiste en una unidad manual para la entrada de la información, en la que va un tablero clave, mediante el cual el observador puede identificar el elemento en estudio, así como registrar su factor de calificación para ese elemento; al mismo tiempo, mediante un botón puede señalar a la unidad

medidora de tiempos que el elemento está terminado. La unidad principal a que está conectado el dispositivo para entrada de la información, es una consola con ruedas, la que consiste en un medidor de tiempos, un mecanismo perforador de cinta de papel, una impresora que proporciona la información, y algunos otros aditamentos interesantes. Una vez que se ha terminado el estudio de tiempos, los diversos tiempos y factores de calificación correspondientes, registrados en cinta de papel perforada, se transforman



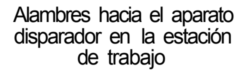
Figura 85. Ilustración del dispositivo WETARFAC para estudio de tiempos, usado por la firma R. R. Donnelley and Sons Company, en la que se muestra la unidad portátil para medir los tiempos (unidad de entrada). En la parte posterior aparece la unidad de información. (Cortesía de R. R. Donnelley and Sons Company.)

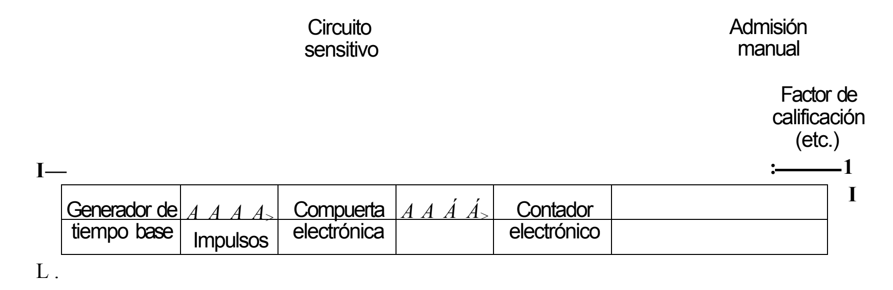
en tarjetas perforadas, a partir de las cuales y mediante un equipo procesador de datos, se obtienen los siguientes resultados: el tiempo medio para cada elemento, la desviación estándar, un intervalo de confianza, el tiempo normal y el tiempo estándar. En vez del dispositivo manual citado anteriormente, puede emplearse un dispositivo automático, tal como un microinterruptor, obteniéndose así la información requerida para el cálculo de los tiempos.

Respecto al dispositivo electrónico para el estudio de tiempos, en la figura 86 se muestran sus principales características, mediante el conocido diagrama de bloque. Un sistema basado en los principios indicados puede construirse a partir de elementos disponibles en el mercado; actualmente se han instalado varios de ellos en diversas instituciones educativas.[4]

[4] "SEMTAR" en la Universidad de Minnesota y "Automatic Motion-Time Recorder" en la Universidad de California.

Los sistemas mecánicos que hasta ahora hemos discutido, implican la mecanización de la mayor parte del proceso de estudio de tiempos; sin embargo, algunas veces puede resultar conveniente mecanizar sólo alguna fase del sistema. Por ejemplo, en un estudio prolongado de retrasos puede resultar aconsejable el uso de dispositivos fotográficos intermitentes, como sustitutos del observador. Este equipo fotográfico puede programarse a fin de que automáticamente tome fotografías a intervalos regulares pres-





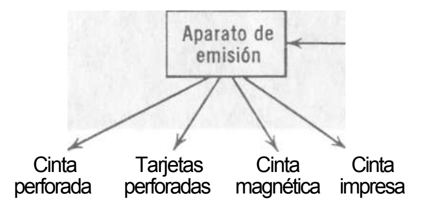


Figura 86. Diagrama de bloque para un sistema electrónico de estudio de tiempos.

critos; por ejemplo, una fotografía por minuto, o una cada 15 minutos, o bien, a intervalos al azar. Además, en el mercado se dispone de diversos dispositivos, tanto mecánicos como electromecánicos, que pueden usarse para el registro automático de tiempos activos y ociosos de cualquier parte de un sistema productivo.

Es indispensable que el lector, y cualquier especialista de este campo, tenga una idea clara del papel fundamental de la introducción de la mecanización en un sistema de estudio de tiempos; pues la primera impresión es que esto se haga por el simple motivo de automatizar el sistema; sin embargo, no es así, ya que los costos iniciales de tales dispositivos son elevados y además, como consecuencias inevitables de la mecanización tenemos un mayor tiempo de preparación, mayores tiempos ociosos, reparaciones, mantenimiento, etc.

El fin principal de la mecanización es incrementar la productividad del departamento de estudios de tiempos y, de esta manera, reducir los costos

por establecer estándares, así como también proporcionar un mejor servicio a la compañía. El principal ahorro se obtiene durante el procesado de los datos, ya que durante la fase de recopilación de ellos, el observador debe acompañar al dispositivo medidor de los tiempos, a fin de fijar los factores de calificación e indicar las irregularidades. Más concretamente, el uso del dispositivo WETARFAC, por ejemplo, únicamente tiene la finalidad de recopilar la información requerida en forma directamente aprovechable por la computadora (cinta de papel perforada, o tarjetas perforadas), con lo que el observador puede desentenderse de los cálculos tediosos y rutinarios, cuya elaboración requiere de mucho tiempo. Por consiguiente, la recopilación automática de los datos deberá hacerse siempre que económicamente se justifique, por el gran ahorro que permite durante el procesado de los datos; un ejemplo de situaciones en que realmente resulta ventajosa la mecanización de la recopilación de los datos, la presentan estudios prolongados de naturaleza imprecisa, tales como estudios de tiempos ociosos, en los que puede prescindirse completamente del observador, si se emplea el dispositivo registrador correspondiente. Otra gran ventaja de la automatización de la recopilación de los datos es el hecho de que permite una mayor concentración del analista, tanto respecto a una mejor estimación de los factores de calificación, como respecto a la manera de mejorar el sistema; además, sustraer al analista de la parte relativamente tediosa de su trabajo, por otra más atractiva en la que aparece él como más importante, se traduce en un mejor aprovechamiento de las horas-hombre y en mejoras del sistema de medición, o un mejor mantenimiento de los tiempos estándar.

El uso de procedimientos estadísticos formales, para determinar el número de ciclos que deberán medirse

Debido a que en diversos textos y revistas especializadas se han publicado procedimientos estadísticos, semejantes a los descritos anteriormente para la estimación del número de observaciones que deben hacerse, parece aconsejable hacer una evaluación de las utilidades de esos procedimientos, así como de la teoría en que se basan.

Bajo tales procedimientos estadísticos, para un error de muestreo especificado en términos de C e I, el número de ciclos que deberán medirse depende de la variación mostrada por los tiempos "crudos" (no calificados) observados; a pesar de ello, esta variación parece ser de menor importancia, en cuanto al error en un tiempo estándar, que el proceso de calificación. Esta circunstancia permite concluir que una limitación importante de estos procedimientos, está en que la decisión respecto al tamaño de la muestra se basa en una fuente de error relativamente poco importante, sin tomar en cuenta el principal factor de un período de observación adecuado; a saber: la calificación. En corroboración de lo anterior, bastará observar que el estudio de tiempos adolece de los dos tipos de error mencionados

anteriormente: los sesgos y los errores de azar; ahora bien, conforme a la naturaleza de estos dos tipos de error, los procedimientos para determinar el tamaño de la muestra únicamente relacionan el error al azar en un tiempo estándar. Este error al azar de un sistema de estudios de tiempos, expresado en términos de la varianza del conjunto de estándares, es igual a[5] O*br* + *ffwR* + *(*T*dm*^{2} + <T*a* + G*wt*^{2}*,* en donde $c_{BR}{}^2$ es la medida de la variación propia de los calificadores; <*twr*^{2} es la variación dentro, es decir, a lo largo del tiempo; $a_{In)}$- es la variación producida por la desviación del método de trabajo; <$j_a{}^1$ es una medida del error casual originado por el procedimiento empleado en la estimación de la tolerancia; y <t_{kt}- es una medida del error de muestreo de los tiempos observados no calificados.

Es el error al azar del tiempo estándar, expresado en términos de *Cst*^{2}, lo que definitivamente interesa en las deliberaciones concernientes al tamaño de la muestra. La decisión relativa al número de ciclos que deben ser observados, puede basarse justificadamente en la variación de los tiempos observados no calificados, *si y solo si,* el error de muestreo resultante de los mismos es el principal factor del error casual de un tiempo estándar. Sin embargo, parece poco probable que esto ocurra, ante la magnitud de los errores, para un mismo clasificador al variar el tiempo, y entre los distintos calificadores. De acuerdo con esto, parece ser que la varianza asociada con las fases más problemáticas del estudio de tiempos, especialmente el proceso de calificación, son los principales factores a considerar en la estimación del tiempo de observación. O dicho en otra forma, en un estudio de tiempos de parar y observar, el desempeño se mide en lo que respecta a duración y, simultáneamente, se califica: posteriormente, se combinan el tiempo registrado mediante un reloj y el factor de calificación, a fin de obtener la estimación del tiempo normal Lo que constituye un período de observación adecuado, depende de cuánto debe observarse la operación, a fin de reducir el error del tiempo normal; o sea, la *combinación* del tiempo leído en el reloj y el factor de calificación, al mínimo deseado. Entonces, el observador deberá proseguir en la medición de los tiempos y calificación de la operación, hasta que se haya reducido a un nivel satisfactorio el error en el tiempo normal teniendo siempre presente que esto, a su vez, depende de cuándo se haya reducido satisfactoriamente el error de calificación, mediante una observación continua. Sin embargo, hasta ahora son simples conjeturas lo que se ha logrado respecto a la forma en que, mediante una observación continua, disminuye el error de calificación, y con ello, el error de la estimación del tiempo normal.

Lo lógico parece ser, además de tener un significado práctico mayor, medir los tiempos para una serie de ciclos, calificar independientemente cada uno de ellos, y luego aplicar el método estadístico para estimar ei tamaño de la muestra, a la serie resultante de estimaciones del tiempo

[5] La suma directa de estas componentes de varianza con el fin de obtener *ffs-f* presupone que no hay interdependencia significante entre esos errores.

normal. Es decir, en vez de aplicar el procedimiento estadístico a *T*, T_2, *Ti*, *T**, ... T_n, se aplicaría a *(TN)* $_u$ *(TN)**, $(TN)_3$, ..., *(TN)* $_N$ en donde

$$Ti \text{ X } (FC) \text{ i} = (TN)t$$

$$T_2 \text{ X } (FC)_2 = (TN)_2$$

$$T_3 \text{ x } (FC)i = (TN)i$$

$$T_N X \quad (FC)_N = (TN)_n$$

Sin embargo, este procedimiento suele tener la limitación de que es muy poco probable, si no imposible, que un mismo observador califique independientemente la ejecución de una tarea por un mismo operador, para dos o más ciclos; pues existe razón en sospechar que $(FC)_2$, $(FC)_3$, etc., varíen muy poco, a casi nada, con respecto a *(FC)*; además, la calificación de varios ciclos sucesivos puede no reducir materialmente el error del tiempo normal, debido a la estrecha correlación que es muy probable esperar entre las diferentes calificaciones; y aun cuando las observaciones se hagan en forma intermitente, con el fin de pretender una independencia en las calificaciones, esto es totalmente impráctico.

Una segunda limitación de algunos de los procedimientos estadísticos propuestos, la constituye el tiempo requerido para realizar los cálculos correspondientes, y llegar así a la conclusión de si el número de observaciones hechas es o no suficiente. Por ejemplo, bajo algunos de los procedimientos propuestos suele darse el caso de que el tiempo necesario para hacer los cálculos que permitan estimar el número *M* de ciclos adecuados, sea mucho mayor que el requerido para efectuarlos. Existen artificios mediante los cuales pueden abreviarse estos cálculos y, por lo mismo, hacerlos de valor práctico; un ejemplo de ello lo tenemos en el uso de *R* para el cálculo de la desviación estándar de la muestra; no obstante, aun así surgen algunas dudas acerca de si es justificable o no el tiempo empleado en los cálculos; además, los métodos racionalmente cortos para fines prácticos, suelen tener un error en un grado difícil de definir y, por lo mismo, discutible. Es por esto que no parece económico, ni necesario, el uso del procedimiento estadístico para estimar el tamaño de la muestra en todos, o al menos en la mayoría, de los estudios de tiempos. Lo sensato parece ser, aplicar tales procedimientos a trabajos representativos a lo largo de toda la planta, a fin de estimar, para cada *tipo* de operación, lo que constituye un tamaño razonable de la muestra.

Son muchos los conceptos equivocados y las prácticas erróneas prevalecientes en la mayoría de los libros de texto y revistas especializadas en este campo, con respecto a los procedimientos estadísticos para estimar el tamaño de la muestra; por ejemplo, algunos autores especifican, o implícitamente indican, que tales procedimientos deben aplicarse a cada

elemento de la operación, en vez de hacerlo para todo el ciclo. Aparte de que es prohibitiva la cantidad de tiempo requerida por esta práctica, está el hecho de que *si* nos apegamos a esta recomendación, el intervalo de confianza exigido para cada uno de los elementos, no necesita ser tan riguroso como el requerido para el tiempo del ciclo total. Insistir respecto a un 5 por ciento más o menos del intervalo de confianza para el tiempo de cada elemento de una operación, significa que se está exigiendo un intervalo de confianza mucho más severo para el tiempo del ciclo de dicha operación, ya que mientras mayor sea el número de elementos, mayor es la disparidad.

El uso del rango con el fin de estimar la desviación estándar, supone que la población de los tiempos de los ciclos en que se basan los cálculos, está distribuida normalmente; sin embargo, tal suposición no es correcta, ya que el gran volumen de investigaciones hechas en este campo, manifiestan que la distribución esperada de los tiempos de ejecución de una tarea manual, muestra una desviación positiva, que varía desde moderada, hasta severa. El error resultante de estimar s a partir de R, aparentemente no tiene ninguna importancia práctica y, en general, no va en detrimento del uso de este método abreviado.

Tal vez algunos lectores puedan sentirse confundidos por el hecho de que aquí recomendamos el uso del rango de toda la muestra, como base para estimar s, mientras que la mayoría de los autores recomiendan el uso del rango promedio (R) para subgrupos de cuatro observaciones cada uno; así, según este último criterio, se tiene: **Í** = R/d_2, lo que para subgrupos de cuatro nos da $R/2.059$. Sin embargo, Grubbs y Weaver han demostrado que para tamaños de muestras totales de N = 2, a N = 11, la mejor estimación de la desviación estándar de la población, es proporcionada por el rango de la muestra total, dividida entre el factor apropiado d_2, y que cualquier subagrupación de las tradicionalmente recomendadas, proporciona una estimación menos eficiente.[6] Para muestras de tamaño mayor que iV = 11, la subagrupación es solo ligeramente más eficiente que el uso del rango de toda la muestra, por lo que no se justifica el tiempo adicional requerido por los cálculos.[7]

En lo que respecta a la distribución de las medias de las muestras, la mayoría de los autores recomiendan el uso de la distribución normal, en vez de la t de Student; sin embargo, lo recomendable es precisamente lo contrario, ya que la desviación estándar de la población debe calcularse a partir de la desviación estándar de la muestra; en caso contrario, el error es regular, pues si la distribución t indica que el tamaño de la muestra

[6] Grubbs y Weaver, "The Best Unbiased Estímate of Population Standard Deviation Based on Group Ranges", *Journal of the American Statistical Association,* vol. 42, N' 238, junio de 1947.

[7] El mejor tamaño de subgrupo está entre seis y diez, dependiendo de ***N.*** P°r ejemplo, para N = 15, dos subgrupos, uno de 7 y otro de 8 observaciones, son mejores a los otros subgrupos posibles.

necesaria es de 10, una estimación basada en la distribución normal indicaría que una muestra de tamaño 8 sería suficiente.

Otra recomendación común de los libros de texto, la que casi podríamos llamar universal, es el uso de un 95 por ciento de intervalo de confianza. Parece ser que la causa de esta generalización es el hecho de que en muchos otros campos suele adoptarse $C = 0.95$, y no el resultado de un estudio concienzudo del valor adecuado a las necesidades en un estudio de tiempos; para los que parece adecuado un valor del nivel de confianza de 90%, en la mayoría de los casos. Valga el siguiente ejemplo para fijar ideas respecto al uso inadecuado del nivel de confianza: si se insiste en un valor de $C = 0.95$, en vez de $C = 0.90$, esto conduce a que el número de observaciones se incremente en un 40%, lo que demuestra lo desproporcionado del precio que hay que pagar por un incremento pequeño, a veces innecesario, del intervalo de confianza.

Otra práctica, no menos perjudicial, recomendada por los autores, es el pretender fijar el intervalo de confianza como un porcentaje, en vez de un valor absoluto. Así, parece muy común que el intervalo de confianza se especifique como "más o menos 5 por ciento" lo que significa que 7 = 2 X 0.057"; sin embargo, la princ·pal objeción a este proceder, es que con mucha facilidad puede generalizarse que algún porcentaje, 5 por ciento por ejemplo, se emplee automáticamente y universalmente en todas las aplicaciones del procedimiento para estimar el tamaño de la muestra; esto es algo que aún queda por eliminar en el campo de estudios de tiempos. Lo conveniente es que el analista decida, *para cada situación individual* y con base en la importancia de la medición por hacer, el intervalo de confianza apropiado.

Algunos autores arguyen que mediante los procedimientos estadísticos es posible controlar la exactitud del tiempo observado promedio; sin embargo, éste es un mal entendimiento del problema, ya que eso únicamente es aplicable al error de muestreo, pues a diferencia de éste, la exactitud de una serie de mediciones no depende del número de observaciones tomadas.

Son muchos los conceptos equivocados, y por ende las prácticas, acerca de la aplicación de la Estadística a problemas de estudio de tiempos, pudiendo apreciarse que aún queda mucho por investigar, a fin de poder establecer criterios para una aplicación inteligente de esta rama de las Matemáticas a nuestro campo. Hasta ahora, parece ser que lo único que se busca es un motivo para la aplicación de esa técnica, que si bien ha demostrado claramente su eficiencia en otros campos, no por eso debemos esperar lo mismo en la Ingeniería de Métodos en general; sin embargo, de ninguna manera tratamos de hacer una crítica destructiva acerca de su Posible aplicación en mediciones del trabajo; por el contrario, reconocemos su potencialidad, si es que se aplica correctamente. Lo que tratamos de mdicar es que algunos especialistas en estudio de tiempos suelen impresionarse por la sistematización de los cálculos de los procedimientos estadíticos, que aparentan una objetividad de precisión y exactitud, así como de un

desempeño mejorado, cuando la realidad es que las cualidades citadas no dependen de ello. Aun cuando es deseable la aplicación de la Estadística a nuestro t mpo, aún queda mucho por hacer; pues, por una parte, es muy poca la gente preparada para una aplicación correcta de esta técnica, y por otra, son muchos los autores que inician técnicas incorrectas e inaconsejables, y muchos más los que las difunden, aplicándolas simplemente porque han dado buenos resultados en otros estudios, apreciándose que casi siempre es muy poca la crítica que se hace respecto al procedimiento correcto para la aplicación de la Estadística a las circunstancias particulares en cuestión; únicamente bajo la asesoría de un estadístico competente, podrá concluirse acerca de la forma adecuada de los procedimientos estadísticos a problemas de estudio de tiempos.

ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL METODO DE CALIFICACION EN UN ESTUDIO DE TIEMPOS

Generalmente todas las personas que practican la Ingeniería de Métodos, están al tanto de las dificultades y deficiencias asociadas con la calificación basada únicamente en la primera experiencia que se tenga; seguramente es un "tipo raro" quien no opine en esa forma, ya que es muy amplia la documentación que se ha publicado a este respecto en los últimos tiempos.

Algunas de las ideas que expondremos a continuación han sido puestas en práctica durante algún tiempo, principalmente el uso de películas, con fines de estimar el factor de calificación. Existen dispositivos elaborados recientemente, algunos de los cuales tienen aplicación directa en los estudios de tiempos; otros, en cambio, no han sido probados para estos fines. La presentación de estos últimos tiene por objeto estimular nuevas ideas e investigaciones, con base en delineamientos firmes, y, en algunos casos, proporcionar mejoras importantes en las prácticas de calificado'i. Teniendo en mente este propósito, se sugieren los siguientes medios para reducir el error de calificación.

Una definición más específica del proceso de calificación

En la mayoría de los textos y fábricas, suelen tratarse en forma bastante vaga y elusiva temas tan importantes como los medios utilizados en el proceso de calificación, lo que específicamente puede esperarse del mismo, qué es lo que se califica y qué no, etc. Parece que la persona que se inicia en esta especialidad, a menudo recibe una explicación muy general y evasiva de la calificación, aparentemente con la esperanza de que él aprenda todo lo específico relativo a lo que va a realizar, y de que por medios indirectos (a veces poco confiables) palpe el concepto de desempeño normal de la compañía. Bajo tales procedimientos, es inevitable una diversidad de interpretaciones; por consiguiente, resulta sumamente recomendable

que los departamentos de estudios de tiempos especifiquen claramente su concepto sobre la calificación, cualquiera que éste sea; pues ser explícito respecto a cómo y qué cosa calificar, no tan solo ayuda a la solución de los muchos problemas que surgirán, sino que, en especial, también beneficia a los que se inician en la práctica de la especialidad.

Una cuidadosa selección y entrenamiento de los calificadores

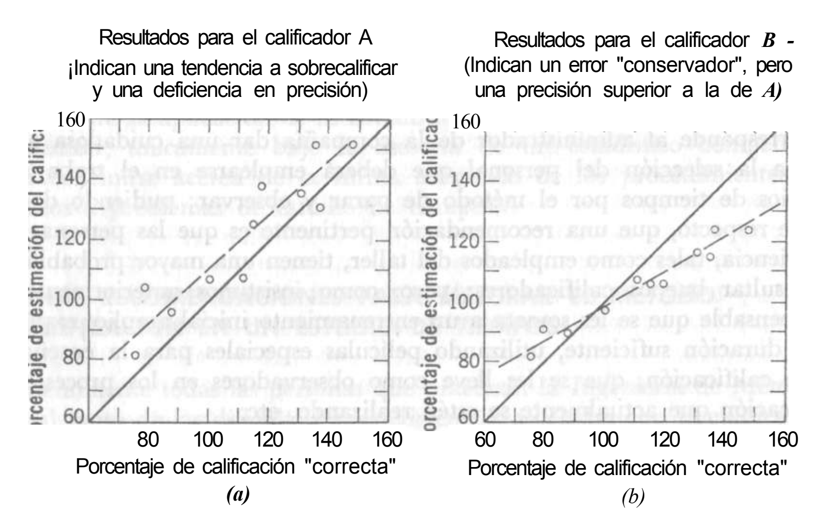
Corresponde al administrador de la compañía dar una cuidadosa atención a la selección del personal que deberá emplearse en el trabajo de estudios de tiempos por el método de parar y observar; pudiendo decirse a este respecto, que una recomendación pertinente es que las personas con experiencia, tales como empleados del taller, tienen una mayor probabilidad de resultar buenos calificadores; pero, como insistimos anteriormente, es indispensable que se les someta a un entrenamiento inicial amplio, explícito y de duración suficiente, utilizando películas especiales para la enseñanza de la calificación, que se les lleve como observadores en los procesos de calificación que actualmente se estén realizando, etc.

Además, es sumamente importante que los calificadores permanezcan bajo información, aún más allá del período inicial de adiestramiento, a fin de lograr que los nuevos calificadores mantengan un comportamiento semejante al de los demás, y para que califiquen de acuerdo con el concepto que la compañía tiene de "normal"; ya que la experiencia ha demostrado que con el transcurso del tiempo, los calificadores manifiestan una tendencia a cambiar y a ser inconsistentes en sus conceptos, con respecto a los demás. Para remediar esto último es sumamente recomendable que al calificador se le dé "retroinformación"; es decir, que se le muestren calificaciones anteriormente hechas por él, a fin de que pueda apreciar su tendencia y, con ello, pueda corregir su error. Asimismo, la retroinformación es sumamente eficaz para que el calificador mejore su habilidad.

Una buena retroinformación puede obtenerse a través de un uso periódico e inteligente, de películas de calificación, en las que se muestren escenas de las operaciones representativas de la planta, ejecutadas a diferentes pasos y mostrando los factores de calificación correctos, a fin de que el calificador pueda hacer comparaciones con los suyos y, de esta manera, pueda mejorar su método.

La práctica usual consiste en proyectar una serie de escenas sobre la ejecución de diversas operaciones, y permitir que los asistentes califiquen cada una de ellas; después de la exposición se dan los valores correctos de calificación para cada una de dichas operaciones. Los resultados así obtenidos, se representan posteriormente en forma gráfica y se analizan en una de las diversas formas posibles, a fin de detectar e informar a cada calificador acerca de los diversos tipos y grados de error cometidos; para lo cual resulta útil una hoja para pruebas de calificación, como la que se muestra en la figura 87. En la figura 87a puede apreciarse una tendencia

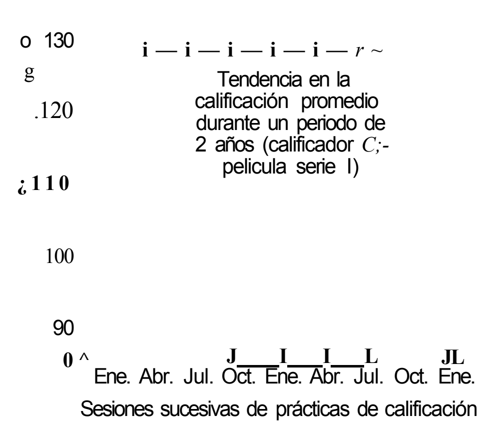
a "sobrecalificar", mientras que en 87b se aprecia un "conservativismo", error que consiste en una rebeldía a desviarse apreciablemente del normal, o 100%. La figura 87a muestra que el calificador *A* es deficiente en cuanto a precisión, cosa que, por el contrario, manifiesta el calificador *B*. Para un mejor aprovechamiento de estos resultados, resulta conveniente hacer una



Figuro 87. Método bastante común y útil para representar gráficamente una serie de calificaciones, a fin de detectar los diversos tipos de errores.

representación gráfica de los mismos, en hojas que abarquen períodos de tiempo grandes, como se muestra en la figura 88, ya que esto permite apreciar la tendencia que se tenga, a largo plazo, sobre el concepto normal. En esta última figura, por ejemplo, el calificador *C* manifiesta una afinación gradual de su concepto de normal. Son muchos los medios de que actualmente se dispone para procesar los resultados de las sesiones prácticas de calificación, que permiten apreciar todos los aspectos concernientes al error de calificación, incluyendo una gran variedad de procedimientos estadísticos ya aceptados convencionalmente, tales como las cartas de control, etc.

Son muchas las recomendaciones que cabe hacer respecto al modo de llevar a cabo esas



Figuro 88. Representación gráfica cronológica de las calificaciones obtenidas, calificándose un mismo conjunto de películas, a intervalos de tres meses.

sesiones prácticas de calificación, y acerca de las películas de calificación. Por ejemplo, la secuencia y distribución de las diversas escenas deben ser tales que minimicen la posibilidad de que los participantes puedan remexnorizar sus calificaciones, o las "correctas", para escenas presentadas anteriormente. Además, a menos que se tenga sumo cuidado en la selección y planeación del uso de una serie de películas de calificación en las que se muestre claramente lo que la compañía entiende por normal, el uso de las películas puede tener un efecto contraproducente, pues puede hacer que los calificadores modifiquen completamente el tiempo estándar total y la estructura del pago de salarios.

Aun cuando existen diferentes fuentes[8] a partir de las cuales pueden obtenerse películas de calificación, bien sea comprándolas o rentándolas, deben preferirse las de elaboración "casera", ya que en ellas aparecerían escenas de operaciones representativas de la planta en cuestión; cosa que de ninguna manera puede esperarse de las películas compradas o alquiladas, en las que generalmente se muestra una gran variedad de tipos de trabajo, de los cuales solamente nos interesaría una mínima parte. De ser posible, las prácticas deben llevarse a cabo con ejecuciones filmadas de operaciones cuyos estándares van a establecer los asistentes.

Ultimamente han estado en boga las películas de exposición múltiple, mediante las cuales es posible mostrar simultáneamente dos o más ejecuciones de una misma operación, permitiendo así una comparación directa. Esto parece especialmente adecuado para el entrenamiento de futuros calificadores, ya que presenta la ventaja de mostrar simultáneamente la rapidez de ejecución normal, y cualquier otra, lo que permite demostrar a los asistentes a las prácticas lo que ellos deben hacer mentalmente.

La inversión que se haga en las películas de que hemos venido hablando, queda más que justificada por el beneficio que proporcionan, tanto dentro del período inicial de adiestramiento, como a lo largo del continuo control de los errores, en un plazo largo. Por supuesto, la evaluación definitiva de la efectividad de esta técnica en la disminución de los errores, ya en la calificación práctica de operaciones que se efectúan en la planta, es esencialmente un asunto de criterio, ya que debe cerciorarse de que, en las actividades dentro de la planta, el calificador manifiesta los mismos adelantos, que los observadores durante la calificación de películas.

Otros medios para obtener retroinformación acerca de los errores, consiste en el uso de grupos ocasionales para el estudio de tiempos, en los que varios expertos califican simultáneamente un cierto número de ejecuciones en la planta, y posteriormente comparan y discuten los resultados. Este método parece ser muy efectivo para controlar la uniformidad de criterio del personal; sin embargo, parece que hasta ahora no se ha utilizado ampliamente. La ventaja de este medio consiste en que realmente es poco el tiempo que requiere y, sin embargo, lo reditúa ampliamente.

[8] El más elaborado, y probablemente el más ampliamente usado de los conjuntos de películas de calificación, lo fabrica y vende la Society for the Advancement of Management (S.A.M.).

Un tercer método para obtener retroinformación respecto al error de calificación, lo constituye un análisis detallado de los errores encontrados en los tiempos estándar ya establecidos, ya que un departamento de estudio de tiempos debe vigilar continua y persistentemente los estándares que establece, no bastando para ello tan sólo tomar en cuenta los cambios en las condiciones y métodos de manufactura, sino que además debe hacer un estudio y proporcionar las bases para la corrección de los errores del mismo sistema. Posteriormente al establecimiento de los estándares y a su introducción a la práctica, deberán revisarse periódicamente a fin de poder actualizarlos, bien sea por cambios en el método o en las condiciones; de esta manera, podrán aislarse los estándares erráticos y hacer las mejoras correspondientes al sistema de medición. Son varias las formas en que pueden analizarse los conjuntos de los estándares (aparentemente) erráticos detectados durante un cierto período de tiempo; por ejemplo, pueden clasificarse de acuerdo con el observador responsable, como se ilustra en la figura 84, o de acuerdo con el tipo de operación, grado de la mano de obra, operador estudiado, etc.; de tal manera que se disponga de una base útil para la corrección del error. Análogamente, son varias las fuentes de retroinformación de este tipo, aunque en la práctica generalmente no se usan o se usan incorrectamente. Siempre que se desee mejorar un sistema, deberá hacerse uso de todos los resultados de que se dispongan, acerca del mismo.

Exclusión de los factores de complicación

Aun en su forma más simple, la calificación es un proceso de naturaleza errática, por no decir nada de lo que ocurre cuando la complicamos por esperar o permitir que el calificador tome en cuenta una, o probablemente varias, de las variables restantes, además de, o simultáneamente con el paso del trabajo mismo. Entre estos factores podemos citar a la dificultad del trabajo, volumen de producción esperado, la naturaleza fatigosa del trabajo, desviación en el método y la relación entre el salario base (tasa base) y el pago que desea recibir el trabajador. Indiscutiblemente, el proceso de calificación sería mucho más simple si se excluyen a varios, o todos, los factores de complicación del proceso, lo que al mismo tiempo permitiría una reducción considerable del error. Con esta finalidad, hacemos las siguientes recomendaciones:

1. Que en el tiempo estándar se tome en cuenta la dificultad del trabajo, pero que no se haga ningún intento de hacer el ajuste correspondiente a esta variable, durante el proceso de calificación. El hecho de que algunos hagan el ajuste por la dificultad del trabajo, mientras que otros no, de que algunos no sepan si se hace o no tal ajuste y de que algunos nunca hayan tratado este asunto, son algunos de los motivos de que al proceso de calificación lo rodee una especie de misterio. Lo evidente, sin embargo, es el

deseo de reconocer la dificultad del trabajo en un tiempo estándar, cuando menos en el caso de que dicho estándar se use bajo un plan de incentivo de salarios; ya que de no proceder así, es probrmle que el sistema de salarios falle, a causa de la desigualdad de oportunidad que presentan los estándares para ganar los incentivos en diferentes operaciones.[9] Sin embargo, parece preferible dejar que la calificación sea simplemente un ajuste de la rapidez de movimiento, mientras que la dificultad del trabajo en sí, se trata separadamente. De acuerdo con esto, parece apropiado el procedimiento ejemplificado por el "objetivo" de calificación del doctor Marvin Mendel. Bajo el propósito del doctor Mendel, brevemente descrito en el capítulo 14, se juzga el paso en el trabajo; después, en forma completamente separada e independiente, se selecciona un factor de ajuste por la dificultad del trabajo, utilizando para ello la tabla de valores proporcionada.

2. *Que el calificador ordinariamente suponga una misma oportunidad de aprendizaje, el mismo volumen de producción, para cada uno de los trabajos que califica, y que el volumen se tome en cuenta mediante los ajustes necesarios del estándar, con base en las curvas de aprendizaje.* Aparentemente, en el instante de llegar a un factor de calificación, muchos calificadores toman en cuenta (lo que en efecto debe hacerse), el volumen de producción esperado para la operación en estudio, constituyendo esto una más de las variables que el calificador debe tomar en cuenta al calificar, y una más de las variables de las que puede y debe liberarse. En vez de seguir la práctica usual, el lector debe suponer, más bien, que el volumen es el mismo, y después igualar las oportunidades de aprendizaje para cada una de las operaciones que él califica; por ejemplo, un tamaño de lote que es usual para el asunto en cuestión. Después, en vez de ajustar a través del factor de calificación, el tiempo debe incrementarse o disminuirse, de acuerdo con el volumen previsto mediante las curvas de aprendizaje o cualquier versión modificada de las mismas. Todo lo anterior presupone que son necesarios ciertos métodos mejorados para predecir los efectos de las variaciones del volumen, sobre el tiempo de ejecución; sin embargo, esto es posible. (Una vez que se disponga de tales métodos predictivos mejorados, será posible obtener estándares flexibles que puedan ajustarse rápida y convenientemente, cuando ocurran cambios importantes en el tamaño del lote, o del volumen total. Además, un medio satisfactorio para ajustar un estándar de tiempo para diferentes condiciones de volumen, sería un excelente auxiliar del método de los datos estándar, ya que ordinariamente es un procedimiento que se comporta insensiblemente a las diferencias del volumen.)

3. *Que la naturaleza fatigosa del trabajo no se considere durante la obtención de un factor de calificación.* Aunque al calificador no se le hace

[9] Las bases de esta creencia son los resultados de las investigaciones que indican que mientras mayor es la dificultad del trabajo, mayor es el grado del esfuerzo requerido para lograr una reducción incrementada dada en el tiempo de ejecución. Véase, por ejemplo, H. A. Brea, "A Study of the Effects of Practice and Changes in Effort on the Performance Times of Different Motions in an Industrial Manual Operation", artículo inédito, tesis para optar al grado de Maestro en Ciencias. Universidad de Cornell, 1955.

ninguna indicación expresa al respecto, el calificador suele calificar de manera tal que su factor de calificación resulta afectado por la naturaleza fatigosa o lo pesado del trabajo en cuestión. Debido a que esto se considera debidamente en las tolerancias por fatiga y, a menudo, en los salarios base durante la evaluación del trabajo, lo correcto es que el calificador se olvide de estas característica; del trabajo, durante la calificación del mismo.

4. *Que el calificador se olvide de la relación entre el salario base y el incentivo total que se desea ganar para el trabajo en estudio, para que de esta manera el dinero quede completamente excluido del proceso de calificación.* Debido al error que algunas veces se comete durante la determinación inicial del salario base, deficiencias entre el abastecimiento y demanda de algunos tipos de mano de obra, y muchas otras razones, los salarios base de algunos trabajos no son competitivos, o suelen ser excesivos con respecto a los trabajos restantes dentro de la compañía, así como con respecto a otras plantas. Debido a que el analista de estudios de tiempos está consciente de esta anomalía, según opinión del autor, el observador está propenso, consciente o inconscientemente, a tratar de remediar esta descompensación durante el establecimiento de los tiempos estándar, ya que si según su criterio el salario base le parece excesivo, trata de ser más severo de lo conveniente, durante el proceso de calificación; por el contrario, si cree que el salario base es muy bajo, entonces se comporta en forma más liberal durante la calificación, de como lo haría en condiciones normales. En el primero de los casos citados, el calificador pretende reducir las ganancias de incentivo, estableciendo estándares demasiado precisos; mientras que en el segundo, establece estándares un poco más liberales, a fin de permitir mayores ganancias por incentivos, y de compensar lo rígido de los salarios base. Son muchas las razones de esta "inclinación" del calificador, entre las cuales podríamos citar la oportunidad y la presión a que se encuentra sujeto para tomar en cuenta la relación entre el salario base asignado y lo que se palpa como salario total justo, alcanzable mediante el plan de incentivo de salarios de la planta, para el trabajo en cuestión; traduciéndose esto en una selección sesgada del factor de calificación del desempeño observado. El estudio de tiempos sería mucho más efectivo en diversos aspectos, si permaneciese libre de consideraciones económicas durante todo el proceso.

5. *Que siempre que sea posible, el calificador evite cualquier intento de ajustar las desviaciones del método de trabajo, durante la determinación del factor de calificación; ya que si tal ajuste debe hacerse, lo correcto es hacerlo mediante mediciones de tiempo directas, o empleando tiempos de movimientos predeterminados.* En muchos casos es imposible, o al menos impráctico, que el analista elimine las desviaciones del método de trabajo, por parte de los trabajadores disponibles para el estudio. Por otra parte, no es sensato querer establecer estándares para un método que no se llevará a la práctica; es por esto que, como se dijo anteriormente, el observador se ve obligado a menudo a intentar calificar "fuera de las desviaciones" del método, lo que a lo sumo es un procedimiento erróneo. Esto constituye una más de las variables que se espera que el calificador tome en cuenta. Repi-

tiendo las sugestiones hechas anteriormente, si no es posible eliminar la desviación del método, ni ignorarla, lo que se propone es:

a. Que el observador mida los tiempos, y califique el método presentado, sin hacer ningún intento de ajustar las desviaciones mediante el factor que desea determinar, y
b. Que posteriormente ajuste el tiempo normal resultante, con base en tiempos de movimientos predeterminados (suponiendo que la desviación es del tipo manual), o, si es posible, empleando tiempos elementales registrados por el método de parar y observar, o por otro medio cualquiera.

Algunos autores y practicantes de nuestro tema de estudio, indiscutiblemente objetarán el uso de tiempos de movimientos predeterminados, debido a que ellos conocen, o al menos sospechan, las deficiencias de los mismos; pero aun cuando estamos conscientes de tales imperfecciones, esto realmente no constituye una limitación seria, si es que consideramos debidamente la alternativa conocida primeramente, y que es asunto de criterio puro, el estimar el efecto de las diferencias en el método, como una parte del proceso de calificación. Además, los métodos para mejorar los sistemas de tiempos de movimientos predeterminados, actualmente muestran una gran potencialidad y promoción.

Reducción del error de calificación, mediante un esquema observacional radicalmente diferente

Como lo demuestran las dos siguientes hipótesis, es realmente apreciable la ventaja de emplear un plan de observación múltiple, procediendo según intervalos cortos, y durante un tiempo mayor que el convencionalmente empleado en estudios de tiempos.

La primera de las hipótesis a que anteriormente hicimos referencia, consiste en aceptar que, desde el momento en que un observador empieza a hacer su estudio de tiempos para un operador dado, con el fin de estimar un factor de calificación, la probabilidad del error en sus calificaciones disminuirá a medida que el número de observaciones aumenta en forma continua, de acuerdo con la ley que se indica en la figura 89. Supongamos que el calificador se viese obligado a proporcionar un factor de calificación en el tiempo ti. Bajo estas condiciones, es muy probable que su selección caiga dentro del intervalo *ab,* mientras que si la selección se hiciese en el tiempo *ti,* probablemente caería dentro del intervalo *cd.*[w] O sea que, mediante una observación continua, se espera que la variabilidad de las calificaciones disminuya de acuerdo con la ley que definen las curvas *A y A';*

[10] Estos **intervalos** y **la curva compuesta de ellos, podría definirse que contiene un Porcentaje (digamos 95%) de las posibles calificaciones que podrían esperarse del calificador en el tiempo í¡.**

o sea, con una aceleración marcada al principio, y después con una aceleración menor, hasta que se alcanza un punto en el que cualquier continuación de las observaciones sólo produce una disminución muy pequeña de la varianza de la calificación, o lo que es equivalente, de la estimación del tiempo normal.

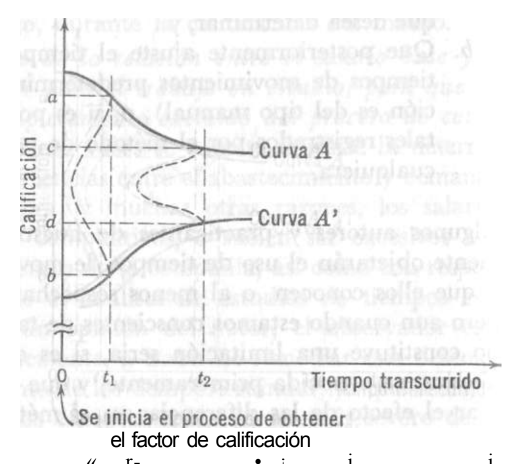


Figura 89. Curvas que indican el aumento en la precisión para calificar, en función de la amplitud del intervalo de observación,

La segunda hipótesis, igualmente importante, se refiere a lo que el autor ha convenido en llamar punto de decisión del calificador. Esta hipótesis consiste en aceptar que a lo largo del estudio de tiempos, en un determinado tiempo, existe un intervalo, durante el cual el observador se concentra, a fin de estimar el factor de calificación; cosa que hace después de haber dado la debida consideración al desempeño que ha observado durante ese intervalo; además, se acepta que ese valor permanece constante a lo largo de todo el período de observación, a menos que haya un cambio radical en el nivel del desempeño. Es decir, una vez que se ha hecho la decisión, se acepta que el valor seleccionado para el factor de calificación es prácticamente constante. Debido a que es muy poco probable que el mismo calificador obtenga dos o más calificaciones realmente independientes, durante el estudio de un operador dado, parece sensato proseguir el estudio más allá del punto de decisión. Una vez que se ha determinado un factor de calificación, será rigurosamente aplicable *únicamente* a los ciclos medidos durante el período que el calificador empleó para su determinación. Si hacemos posteriores observaciones, y no encontramos diferencias importantes con respecto a las que sirvieron de base para determinar el factor de calificación, como ocurre para las *equis* marcadas en la figura 90, vemos que prácticamente no se ha ganado nada. Si por el contrario, los ciclos posteriormente observados se ejecutan a diferente nivel de esfuerzo, como lo indican los puntos en la figura 90, y si, como es de esperar, el factor de calificación permanece constante, el error se habrá incrementado, porque se determinó con base en una muestra, pero se está aplicando a otra, de ejecución diferente; cosa que también pudo haber ocurrido con los ciclos anteriores a los que sirvieron de base para determinar el factor de calificación.

Las implicaciones de las hipótesis anteriores son numerosas; una de las cuales es que las variaciones, o el error de muestreo de los tiempos observados no calificados, no sea una base representativa, como ordinariamente

suele ocurrir, sino que sea imparcial, para determinar el intervalo de tiempo más económico que debe observarse durante una calificación. Lo importante aquí es lo largo del período de observación, a fin de reducir el error del tiempo *calificado* a un mínimo económico y no el número de lecturas del reloj que deben hacerse. Parece que lo más acertado sería basarse, principalmente, en la reducción incrementada, tanto para calificar, como para el error de tiempo normal; debida a incrementos sucesivos del tiempo de

Figura 90. Representación gráfica de una serie de tiempos registrados para ciclos consecutivos por un solo observador; en la que al mismo tiempo se muestra el punto de decisión postulado para la calificación.

observación. Esto permite definir el período de observación económico, ya que lo indicado sería suspender el proceso, cuando el costo derivado de nuevas observaciones no sea comparable con la reducción del error obtenido. Posiblemente, este período de tiempo puede resultar relativamente corto; sin embargo, aparentemente es mucho menor el tiempo requerido por la mente para la comprensión efectiva del fenómeno, y llegar a tal juicio.

Podría resultar mejor, por ejemplo, instruir al calificador a fin de que sus observaciones sean de unos cuantos minutos (o una mínima parte de un ciclo, si es que éste es grande) y que durante ese lapso seleccione su factor de calificación. El estándar podría basarse en el tiempo normal así estimado; o bien, el observador podría regresar un poco más tarde, y tomar otra muestra de ese tipo (sin embargo, a pesar de que haya transcurrido ese tiempo, es muy probable que la segunda calificación esté estrechamente correlacionada con la primera elección) *podrían promediarse las estimaciones similares de varios observadores.* A menudo puede resultar mejor tener varios observadores, cada uno de los cuales estudia una operación dada durante 5 minutos, o un tiempo parecido, que tener un observador para que lo estudie durante una hora, ya que es perfectamente concebible

que el error de calificación de un observador, para períodos de una hora o más, sea semejante al mostrado después de los primeros cinco minutos. De acuerdo con todo esto, ¿por qué tener a la misma persona observando continuamente, si parece poco probable que cambie de manera de pensar respecto al factor de calificación, una vez que lo ha elegido, incluso para períodos de observación futuros? O, ¿por qué hacer que el calificador observe continuamente, si las observaciones futuras no aumentan la precisión de su tiempo normal estimado? En el caso de que deban hacerse observaciones adicionales, podrían utilizarse diferentes calificadores, especialmente porque las diferencias entre calificadores contribuyen significativamente a los errores en los tiempos estándar, conviniendo el muestreo estadístico de más de un calificador. En la práctica, suele resultar prohibitivo el empleo de más de un observador para una misma operación, en el transcurso del estudio necesario para establecer un tiempo estándar; sin embargo, esto no es inherencia del método, sino consecuencia de prácticas tradicionales, en las que suele emplearse un tiempo más o menos fijo; lo que, de acuerdo con los argumentos anteriormente presentados, probablemente no es necesario en manera alguna.

Supongamos que se propone que un tiempo estándar se base en la estimación del tiempo normal de más de un observador, y que cada estimación se base en períodos de observación cortos, fuera de lo convencionalmente aceptado. Bajo este procedimiento, el tiempo normal para una operación podría basarse en una comparación entre $(TN)_A$, $(TN)_B$ y $(TN)_C$, etc., en donde

Observador		Estimación del tiempo normal resultante
A	$t_a \times (FC)_A =$	$(TN)_a$
B	$T_b \times (fc)_b =$	$(TN)_b$
C	$T_c \times (FC)_c =$	$(TN)_C$

y en donde los diferentes observadores muestrean a diferentes tiempos del día y semana, cada uno con intervalos de tiempo relativamente cortos, tal vez varios minutos, pero nunca menos de un ciclo completo. *Es perfectamente adecuado aplicar los procedimientos convencionales para la estimación del tamaño de la muestra a estas estimaciones de tiempos normales relativamente independientes.*

Algunos autores han propuesto el uso de muestreos intermitentes, durante el estudio de tiempos de una operación.[11] Brevemente, esta propuesta implica la colección de una serie de submuestras distribuidas al azar, cada una de las cuales consta de, digamos, cinco ciclos consecutivos. Deberá no-

[11] **John M. Allderige, "Statistical Procedures in Stop-Watch Work Measurement",** *Journal of Industrial Engineering,* **vol. VII, N° 4, julio y agosto de 1956; Adam Abruzzi,** *Work, Workers, and Work Measurement,* **Columbia University Press,** Nueva **York, 1956.**

tarse, sin embargo, que el objeto principal de este procedimiento es obtener una estimación más representativa del tiempo del ciclo medio no calificado, mientras que el procedimiento aquí propuesto es mucho más amplio; a saber, obtener una estimación más confiable del tiempo normal, y está dirigido principalmente al problema más importante del error de calificación. El hecho de que el último procedimiento igualmente produzca una estimación más representativa del tiempo observado promedio, es secundario.

La labor de convencimiento del gerente del Departamento de Ingeniería de Métodos

Hay una observación general e importante, con respecto al error y a la reducción del mismo en la medición del trabajo, la que por ningún concepto debe pasarse por alto, y es: La gerencia presiona al departamento de estudio de tiempos, para que obtenga los estándares y para que mantenga en un mínimo los costos por aplicación de los estándares de la compañía. Por lo mismo, ese departamento generalmente parece estar con personal escaso y, bajo estas circunstancias, es imposible que cumpla sus funciones de adiestrar, reducir el error, establecer y desarrollar estándares. En opinión del autor, es mucho lo que se habla de los costos en que se incurren por establecer estándares, pero casi nunca se habla de la calidad de los mismos, ni en los costos indirectos incurridos por el uso de estándares equivocados. La situación, en general, parece algo paradójica, ya que la gerencia desea costos bajos, y esto lo único que hace es indicar que la compañía sólo se fija en los costos de operación del departamento de estudio de tiempos; sin embargo, lo correcto es que también considere otra clase de costos, los derivados de una estructura de estándares de tiempo, innecesariamente erráticos; pero debido a que estos costos no son obvios, rara vez se les considera debidamente. La gerencia hace énfasis en los costos que le son evidentes y consecuentemente y quizá inconscientemente, exagera mucho los costos que no puede ver. Es por esto que el administrador del departamento de estudio de tiempos tiene que hacer una labor de convencimiento, o como suele decirse allende el Bravo, "hay que vender el trabajo".

REFERENCIAS

Barnes, R. M., *Work Measurement Manual,* William C. Brown Company, Dubuque, Iowa, 1945.

Buffa, Elwood S., "The Electronic Time Recorder; A New Instrument for Work Masurement Research", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 9, N° 2, Marzo-Abril 1958.

Davidson, Harold O., *Functions and Bases to Time Standards,* American Institute of Industrial Engineers, 32 West 40th Street, Nueva York 18, N. Y., 1952.

Goldman, Jay y Gerald Nadler, "The UNOPAR", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 9, N° 1, Enero-Febrero 1958.

Gomberg, William, *A Trade Union Analysis of Time Study,* 2a. edición, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1955.

Hoxie, Robert F., *Scientific Management and Labor,* D. Appleton and Company, Nueva York, 1915.

Karger, Delmar W., "Instrumentation for Automatic Data Processing in Motion Time Research", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 9, N" 2, Marzo-Abril 1958.

Rand, Christian, "A Hyper-Audio Pulse Triggered Input Device", *Journal of Industrial Engineering, vol. 7, N°* 2, Marzo-Abril 1956.

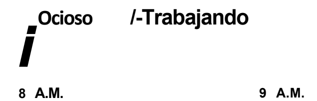
Smirnoff, Michael V., "Significant Figures in Measurements", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 10, N' 2, Marzo-Abril 1959.



Muestreo del trabajo

El segundo de los dos métodos para estudios de tiempos que implican observaciones directas, se conoce comúnmente como muestreo del trabajo, el que, como su nombre lo indica, consiste en la extracción de muestras en forma intermitente y al azar, durante un período de tiempo mayor que el acostumbrado en un estudio de tiempos por el método de parar y observar. Respecto a este último, se miden los tiempos para una serie de ciclos lo suficientemente larga, a fin de obtener una estimación razonable del tiempo normal del ciclo; sin embargo, no se obtiene una estimación satisfactoria acerca de los requerimientos fuera del ciclo de trabajo; necesidad que sí satisface el método que ahora nos ocupa.

Concretamente, el muestreo del trabajo consiste en estimar la proporción del tiempo dedicado a un tipo de actividad dada, durante un cierto período de tiempo, empleando para ello observaciones instantáneas, intermitentes y espaciadas al azar. En la siguiente figura se muestran los símbolos mediante los cuales se representan los dos estados de actividad, trabajando y ocioso, para una parte del día de trabajo de un operador.



La forma en que se realiza ordinariamente el estudio de muestreo del trabajo, con el objeto de determinar la proporción del tiempo en estado ocioso, es comparable a que cortásemos la barra de la figura anterior en tiras muy angostas, a fin de que representen intervalos de tiempo muy cortos, y que posteriormente colocásemos en una caja todas las tiras obtenidas, para después extraer un cierto número de ellas, al azar. Una vez que

se ha obtenido una muestra razonable, la proporción de las "tiras ociosas" en la muestra nos da una idea de la proporción real de las "tiras ociosas" en la caja; o lo que es equivalente, del tiempo invertido realmente en ese estado. Supongamos que se extrajeron cien tiras y que de ellas, 18 fueron ociosas; entonces, una estimación de la proporción de tales tiras, en toda la caja (la población), es:

$$\frac{18 \text{ tiras ociosas}}{100 \text{ tiras extraídas}} \times 100 = 18\%$$

de donde se puede inferir que el 18% del tiempo se invierte en estado ocioso.

Conviene aclarar que, en la práctica, realmente no tenemos las ventajas del diagrama de la barra mostrada; sino que es necesario seleccionar al azar los instantes en que deseamos observar, y después ir al lugar de trabajo en el tiempo elegido, a fin de observar lo que el operador está haciendo. O sea que la equivalencia del proceso de muestrear tiras, ya en la práctica, es una serie de observaciones en el lugar de trabajo, instantáneas y espaciadas al azar.

Aplicaciones del muestreo del trabajo

En general, el muestreo del trabajo se usa para estimar la forma en que se distribuye el tiempo (del operador, o del equipo) entre dos o más tipos de actividades, cuándo obtener esta información, a partir de registros o dispositivos registradores automáticos, resulta inconveniente, caro o imposible. A continuación mencionamos algunas de las aplicaciones más frecuentes.

1. Estimación de los tiempos por retrasos inevitables, que servirán de base para establecer las tolerancias por retrasos.

2. Estimación del porcentaje de utilización de las máquinas-herramienta en un taller, de las grúas en un taller de maquinaria pesada, o de los camiones que surten y dan servicio a un almacén.

3. Estimación del porcentaje de tiempo consumido por varias actividades de trabajo, por parte del taller, a supervisores, ingenieros, reparadores, inspectores, enfermeras, profesores de escuelas personal de oficina, y así, sucesivamente.

4. Estimación de un tiempo estándar mediante una combinación de la calificación con el muestreo del trabajo. Supongamos que mediante un estudio de muestreo del trabajo, se estimó que el 20% de una semana de trabajo se consumió en retrasos evitables; ahora bien, si cada vez que se hizo una observación de muestreo del trabajo, al mismo tiempo se calificó el operador; si suponemos que el promedio de esas calificaciones

Hoja de observaciones para muestreo del trabajo

Estudio de: *Utilización del tiempo de ingeniería*

				No delegables											*Delegables*							
Programa de observaciones. observar en:	*Ing. que será observado*	Ocioso	No considerado	*Dibujando*	*Cálculo*	*Mediciones*	*Construcción*	*Trabajo de oficina*	*Adquiriendo inform.*	*Pensando*	*Leyendo*	*Consultando*	*Supervisión*	*Misceláneos*	*Dibujando*	*Cálculo*	*Mediciones*	*Construcción*	*Trabajo de oficina*	*Adq. información*	*Adq. materiales*	*Misceláneos*
Lunes 8:02	C			✓																		
8:17	M										✓											
8:18	B	✓																				
8:31	F															✓						
8:48	H	✓																				
9:34	C																					✓
9:36	G												✓									
9:57	D							✓														
10:07	M															✓						
10:41	A					✓																
11:12	C					✓																
11:25	F															✓						
1:09	E		✓																			
1:28	B											✓										
1:33	H			✓																		
2:28	K	✓																				
2:43	G		✓																			
2:57	B									✓												
3:10	M									✓												
3:18	F																	✓				
3:52	D																			✓		
3:55	A				✓																	
4:00	F							✓														
4:21	E												✓									
4:48	B			✓																		
Total diario		3	2	3	1	2	0	2	0	2	1	1	2	0	0	3	0	1	0	1	0	1

Figura 91. Hoja para observación de la muestra, para un estudio de muestreo del trabajo de un día, en un departamento de ingeniería. En la primer columna aparecen los tiempos de observación asignados, y en ellos el observador hace una observación instantánea del ingeniero citado en la lista de la tabla. Una "marca" indica que, en el instante de hacer la observación, el ingeniero estaba realizando la actividad señalada en el encabezado de la columna correspondiente.

es 110%; y si durante ese período de 40 horas, el operador produjo 1000 unidades, el tiempo estándar sería:

$$\frac{40 \text{ hs.} \times 0.80 \times 1.10}{1000 \text{ unidades}} = 0.32 \text{ hora/unidad} \times 110$$

$$= 0.35 \text{ hora por unidad}$$

Muestreo del trabajo de un departamento de ingeniería, como un caso ilustrativo. El jefe de un departamento de ingeniería ha decidido que se lleve a cabo un estudio de muestreo del trabajo de su personal, con el fin principal de estimar la cantidad del trabajo que actualmente desarrolla el cuerpo profesional, que podría delegarse a personal, tanto técnico como semitécnico. El ingeniero encargado del diseño del estudio ha establecido tentativamente las siguientes categorías de actividades que deben observarse :

No delegable	*Delegable*
Dibujar	Dibujar
Calcular	Calcular
Mediciones	Mediciones
Construcción	Construcción
Papeleo	Papeleo
Adquirir información	Adquirir información
Pensar	Adquirir materiales
Leer	Varios
Asesorar	
Supervisión	*Ocioso*
Varios	*Se hicieron mediciones*

El diseñador del estudio ha decidido que se tomen 500 observaciones, distribuidas al azar en un período de 20 días de trabajo, entendiéndose que las 500 observaciones estarán igualmente distribuidas en los veinte días, correspondiendo 25 observaciones a cada día; mientras que a lo largo de un día, las observaciones estarán distribuidas al azar. Con este fin, se prepararon formas para registrar las 25 observaciones diarias, estableciéndose para ello un programa, según el cual, cada ingeniero debía ser observado el mismo número de veces durante el estudio, aunque con secuencia al azar. En la figura 91 se muestra la hoja de observación preparada para el estudio, y una vez establecidas las especificaciones concernientes a detalles de observación adicionales, comenzó el período de recopilación de datos.

La manera de registrar las observaciones es la mostrada en la figura 91. Una vez concluido el período de observación de 20 días, se suman las observaciones de cada una de las categorías y se calcula la proporción de las observaciones para cada una de ellas. En la tabla 10 se muestran los resultados del estudio, el que indica, por ejemplo, que el 5.6% del pe" ríodo en estudio se estuvo ocioso, y que el 36.4% de este tiempo se consumió en actividades que pudieron relegarse a personal de menor habilidad técnica.

TABLA 10

Resultados del estudio de muestreo del trabajo, para el departamento de ingeniería

Actividad *i*	**Número de observaciones**		**Estimación de la proporción del tiempo invertido en la actividad** *i* (P_i)	
Ocioso	28		0.056	
pfo estaba	34		0.068	
ISTo delegable	256		0.512	
Dibujar		13		0.026
Calcular		33		0.066
Medir		24		0.048
Construcción		11		0.022
Papeleo		23		0.046
Recabar información		30		0.060
Pensando		31		0.062
Leyendo		17		0.034
Asesorar		57		0.114
Supervisión		10		0.020
Varios		7		0.014
Delegable	182		0.364	
Dibujar		31		0.062
Calcular		42		0.084
Medir		13		0.026
Construcción		37		0.074
Papeleo		25		0.050
Recabar información		13		0.026
Adquirir material		6		0.012
Varios		15		0.030
Total	500		1.000	

Secuela del procedimiento básico para muestreo del trabajo

Condensando los refinamientos y artificios hasta ahora disponibles para el estudio de muestreo del trabajo, podemos delinear la aplicación del mismo, en esta secuela:

1- Pasos preliminares, que requieren

") definición de los objetivos, incluyendo especificación de los estados (categorías) de actividad por observar;

b) diseño del procedimiento de muestreo, lo que implica:
   1. estimación del número satisfactorio de observaciones que deben hacerse;
   2. selección de la longitud del estudio;
   3. determinación de los detalles del procedimiento de muestreo, tales como programación de las observaciones, método exacto de observación, diseño de la hoja de observación, y rutas a seguir.

Recopilación de los datos, mediante la ejecución de un plan de muestreo previa-mente **diseñado**

3. Procesado de los datos, incluyendo
   a) cálculo de P_i, la proporción de las observaciones en la muestra que resultaron ser dr la actividad *i;*
   b) análisis de los datos en las demás formas que parezcan útiles y apropiadas.
4. Presentación de los resultados.

Deberá notarse que la mayor parte de las fases de este estudio son idénticas a las requeridas en el estudio de tiempos por el método de parar y observar. Posteriormente, describiremos un gran número de detalles de este procedimiento; sin embargo, antes discutiremos tres tipos de error a los que debe darse especial atención en el diseño de un estudio de muestreo del trabajo.

El error de muestreo. Siempre que se hacen inferencias respecto a una cierta población, empleando para ello las mediciones realizadas en una parte de la misma, surge el error de muestreo; esta parte de la población en la que se hacen las mediciones, como anteriormente hemos dicho, constituye la muestra. La naturaleza y comportamiento de este tipo de error, pueden explicarse mejor suponiendo una urna grande en la que tenemos cuentas negras y blancas. Aun cuando se sabe que el 20% de las cuentas contenidas en la urna son blancas, para demostrar el error de muestreo se hicieron extracciones sucesivas de 100 cuentas, tomando sólo una, cada vez de ello, se obtuvo que la proporción de cuentas blancas (Pt) en la primera muestra fue de 0.23. Después, se repusieron en la urna cuentas extraídasy se procedió a extraer una segunda muestra de 100 cuentas, obteniéndose fj = 0.19. Procediendo en la misma forma, se extrajo una serie de muestras de 100 cuentas cada una, obteniéndose los siguientes valores de ***Pi,***\ 0.24, 0.21, 0.15, 0.19, 0.27, 0.20, 0.22, etc. Fácilmente se advierte que si hubiésemos empleado cualquiera de dichas relaciones, para estimar la proporción de cuentas blancas en la urna, Pb, siempre habríamos llegado a resultados erróneos, siendo precisamente éste el concepto de error de muestreo. Si el proceso de muestreo anteriormente descrito para las cuentas lo realizamos un gran número de veces, para muestras de 100 cuentas, y si representamos gráficamente los valores correspondientes de Pb, en la forma de un histograma de frecuencias, los resultados serían semejantes a los mostrados en la figura 92, el que suele encontrarse muy frecuentemente en diversos estudios, y al que se le conoce como forma aproximada de la distribución binomial.

Este es un ejemplo claro del proceso de muestreo, pudiendo apreciarse la naturaleza aleatoria del error en que se incurre cuando a partir de las mediciones hechas en una muestra de 100 cuentas quiere hacerse inferencias respecto a la totalidad de las cuentas blancas que contiene la urna Realmente, debido a esa naturaleza aleatoria del error, el muestreador podría encontrar valores de Pb comprendidos entre 0.12 y 0.28 (véase la figura 92) y hacer la conclusión correspondiente acerca de la magnitud de Pb- En el procesó de muestreo del trabajo pueden encontrarse las mismas características, ya que, en esencia, es un proceso de muestreo, con la única diferencia de que en vez de cuentas blancas y negras podemos tener dos

tipos de lapsos, a saber: trabajando y ocioso, y en que la población está constituida por todos los lapsos comprendidos por el período que comprende el estudio. En este caso la inferencia que interesa es acerca de las magnitudes de *P,* y P_0, teniendo como base para ello a una muestra de varios cientos de observaciones instantáneas. Es por esto que el diseñador del estudio de muestreo del trabajo siempre debe tener presente al error de muestreo; por ejemplo, si se hubiesen extraído muestras de 1000 unidades

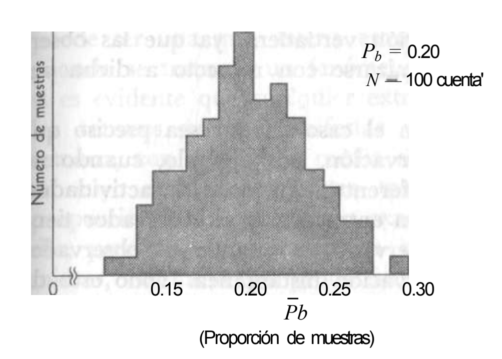


Figura 92. Histograma de frecuencias de la proporción ae cuentas blancas encontradas en muchas muestras de 100 cuentas cada una. Se sabe que en la población, 20% de las cuentas son blancas.

en vez de 100, para el caso de las cuentas blancas y negras, la mayoría de las P_b habrían caído entre 0.17 y 0.23, en vez de entre 0.12 y 0.28; análogamente, si las muestras fuesen de tamaño 5000, la mayoría de las $P_¡$, habrían caído entre 0.19 y 0.21, y así sucesivamente. La elección del tamaño de la muestra (N) puede hacerse de diversas maneras, las que varían desde el simple sentido común hasta una fórmula objetiva de la Estadística. Una ventaja importante de este último procedimiento es que permite al diseñador del estudio, especificar numéricamente el error de muestreo tolerable, en términos del coeficiente e intervalo de confianza, y con ello, determinar el tamaño de la muestra necesaria para controlar el error de muestreo dentro de ese nivel.

Sesgos en el muestreo del trabajo. En este caso, los segos deberán interpretarse como la diferencia entre la probabilidad de observar un estado dado de actividad, un retraso por ejemplo, y la proporción del tiem-¿po realmente dedicado a ella. Supongamos que el muestreador que extrajo las muestras sucesivas de 100 cuentas de la urna estaba sesgado en sus selecciones, porque a pesar de que la proporción de las cuentas blancas es de 0.20, sus resultados indicaban que la probabilidad de extraer una cuenta blanca es de 0.30 en vez de 0.20; lo que únicamente se explica mediante lo sesgado de la forma en que se seleccionaban las muestras. En este caso, la distribución mostrada en la figura 92 convergería en 0.30, en vez de en 0.20. En el estudio del departamento de ingeniería citado anteriormente, se encontró que el 5.6% del tiempo se pierde en ociosidad, lo que indica que la probabilidad de encontrar ocioso a un ingeniero es de 0.056; sin embargo, es muy probable que la proporción real del tiempo

que invierte en ese estado sea, cuando menos, varias veces esa cii:ra. Como una consecuencia de los sesgos, las poblaciones involucradas son dos, la real y una ficticia que existe únicamente después de hacer las observaciones. Ahora bien, tocante al muestreo del trabajo, son tres las fuentes del error de muestreo.

1. Una programación no aleatoria de las observaciones, por ejemplo, cuando las observaciones se hacen cada media hora, en cuyo caso, cualquier actividad que es periódica se observará con mayor o menor frecuencia de la que ocurriría con base en su proporción verdadera, ya que las observaciones pueden sincronizarse o desincronizarse con respecto a dicha actividad.
2. Sesgos por parte del observador. En el caso de que sea preciso que el observador juzgue en el sitio de observación, por ejemplo, cuando no exista una delimitación clara entre las diferentes categorías de actividades; cuando existen varios estados de transición entre ellas y el observador tiene que decidir acerca de la actividad observada; o cuando el observador dispone de un lapso para hacer su observación instantánea. Todo esto da oportunidad a que el observador aplique nociones preconcebidas de aquellos resultados del estudio que resultan afectados por todo lo anterior (y, a este respecto, no debe creerse que estas nociones preconcebidas son poco comunes).
3. Un cambio en el comportamiento de lo observado, cada vez que van a hacerse las observaciones, en cuyo caso la población real es completamente diferente de la observada. Un ejemplo de esta situación podría serlo un estudio de retrasos de producción inevitables, en los que no es raro encontrar que la probabilidad de observar un retraso sea de 0.30, mientras que la proporción real de los retrasos es de solamente la mitad de la cifra anterior, debido a que los trabajadores se las han arreglado para que puedan prever el momento de observación, y ajustar su desempeño conforme a ello. Resultados como éste deben esperarse siempre que los trabajadores tengan la oportunidad de prever las observaciones, por lo que el observador deberá tener conciencia de los sesgos correspondientes.

Como puede apreciarse, son numerosas las fuentes de sesgos a las que el diseñador del estudio de muestreo del trabajo debe dar atención directa, a fin de minimizar este tipo de error. Desafortunadamente, a diferencia del error de muestreo, aquí no es posible especificar numéricamente y controlar los sesgos; pudiendo decirse que lo mejor que puede hacerse con los sesgos es diseñar y efectuar el estudio de manera que se minimice la oportunidad para los mismos, y esperar (pero nunca sentirse seguro) que esas precauciones sean suficientes para garantizar el éxito.

Carácter no representativo del muestreo del trabajo. El tercer tipo de error con que tenemos que tratar, se refiere a cuán exactamente el período muestreado representa al período futuro en el que se aplicarán las estimaciones hechas, ya que todo lo dicho respecto a la estimación de P_i, el

error de muestreo y los sesgos asociados, es aplicable únicamente al período muestreado, lo que realmente será parte de la historia, una vez que el estudio se haya realizado; por tanto, es importante un análisis respecto al carácter no representativo del muestreo del trabajo y de las circunstancias prevalentes en operaciones a largo plazo.

Deberá tenerse presente la diferencia entre estimación y pronóstico, ya que la primera, por naturaleza, raramente se usa, o mejor dicho, sólo se usa cuando se ha transformado en un pronóstico útil para tomar decisiones concernientes a acciones futuras. Así, lo que en un principio puede ser una muy buena estimación, podría ser un pronóstico inexacto cuando se trata de un fenómeno con tendencias definidas, o es cíclico, y si es evidente que cualquier extrapolación carece de sentido. Por ejemplo, los retrasos suelen manifestar un carácter cíclico con período de una semana, con mínimo a media semana, y máximo, en el lunes y viernes, en cuyo caso, una muestra tomada exclusivamente el miércoles podría proporcionar una estimación exacta de la proporción de los retrasos en ese día, pero de ninguna manera representaría un día cualquiera y, por lo mismo, resultaría un pronóstico inexacto para la proporción de retrasos en operaciones a largo plazo. Si los retrasos fuesen semejantes en todos los días, no tendría sentido hacer muestras que abarcasen períodos de observación superiores a ese tiempo; cosa semejante puede, decirse acerca de semanas, meses y estaciones, etc. En el mundo de los negocios son muy frecuentes las diversas tendencias en la industria, altas y bajas en las compañías, etc., todo lo cual se traduce en variaciones al azar, ciclos y tendencias en la actividad productiva.

Es por esto que el diseñador del estudio de muestreo del trabajo debe presentar especial atención al carácter representativo de la muestra, teniendo siempre presente que, aun cuando no es posible dar expresión cuantitativa que permita especificar y controlar el error debido a que la muestra no es representativa de ?a población de que fue extraída, deberá hacerse todo intento por minimizar ese error, mediante la selección adecuada del momento de iniciar la observación, así como de la duración del período de estudio. El período muestreado debe representar, dentro de lo más cercano posible, lo que se espera en el futuro, por lo que nunca deberá muestrearse durante un período anormal de actividades, ni bajo condiciones no usuales; asimismo, el período de estudio debe comprender los ciclos de producción más importantes, pudiéndose citar al semanal, por ejemplo; sin embargo, esto depende de la planta bajo estudio.

El mejor medio para constatar si la muestra tiene el carácter representativo adecuado, consiste en emplear la información obtenida, tanto durante el período de estudio como al final del mismo, para hacer las estimaciones al respecto. Por ejemplo, mediante una gráfica de control, como veremos más adelante en este capítulo, empleada durante la compilación de datos, pueden apreciarse las tendencias generales y durante los ciclos, cosa que deberá tomarse muy en cuenta, a fin de poder obtener una muestra representativa. Al final de la fase de recopilación de datos, deberán com-

pararse el nivel de producción del grupo observado durante el período de estudio, y el nivel normal de producción de ese grupo, lo que permitirá deducir si el período es o no representativo.

Resumiendo, podemos concluir que los errores están asociados inherentemente a las estimaciones, o lo que es lo mismo, las mediciones hechas durante el período de estudio incluyen errores de muestreo y sesgos; por lo tanto, cuando se aplican las muestras obtenidas como medios para hacer

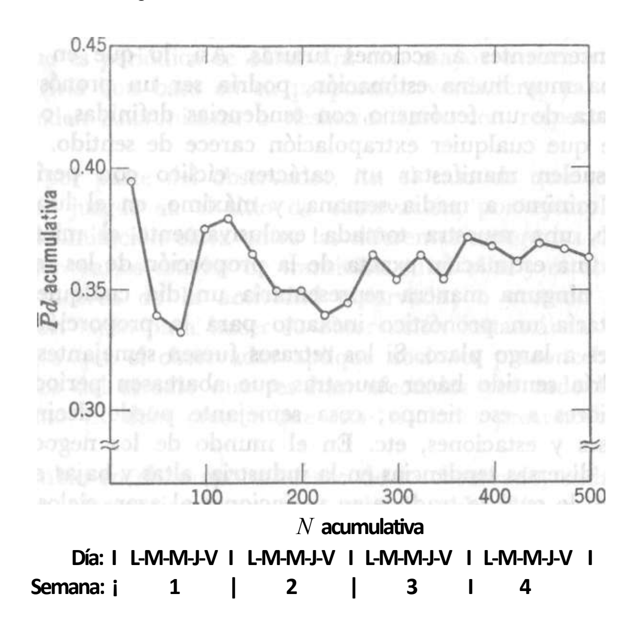


Figura 93. Representación gráfica diaria de la proporción acumulativa del tiempo delegable *(Pd),* **en función del número acumulativo de observaciones hechas.**

pronósticos, las tres fuentes de error son igualmente importantes; sin embargo, conviene notar que cada uno de los tres tipos de error se controla de dife/ente manera, a saber:

1. El error de muestreo, alterando el tamaño, N de la muestra.
2. Los sesgos, por la manera en que se hacen las observaciones.
3. El carácter no representativo, mediante la selección adecuada del período por estudiar.

Diseño del estudio de muestreo del trabajo: selección del tamaño de la muestra. Un método para seleccionar el tamaño de la muestra consiste en confiar en el buen juicio del diseñador del estudio, cosa que en algunos casos ha resultado adecuada; sin embargo, existen casos en los que es de desear un método más confiable, existiendo para tal efecto una técnica que utiliza una representación acumulativa de las estimaciones de P_i, como se ilustra en la figura 93. En esta ilustración, las observaciones recopiladas durante cada día sucesivo del estudio de muestreo del trabajo para el

departamento de Ingeniería, se suman con las ya acumuladas, a fin de obtener una estimación acumulativa y de confiabilidad creciente, del tiempo delegable. Ordinariamente, bajo este método, el estudio se prolonga hasta que la proporción acumulativa parece "estabilizarse; en este caso, las observaciones acumulativas adicionales parecen tener un efecto negligente en el nivel de P_i. Evidentemente, queda a criterio del diseñador del método el instante en que P_i se ha "estabilizado".

Existe un tercer método, el que es más objetivo para la determinación del tamaño de la muestra, y que involucra el uso de la teoría elemental de muestreo, según esta secuela:

1. Especifique un valor máximo del error de muestreo tolerable, en términos de un intervalo de confianza (/) y de un coeficiente de confianza (C), congruente con la naturaleza e importancia de la decisión para la que va a servir de base el resultado del estudio.
2. Obtenga una estimación preliminar de la proporción del tiempo dedicado a la actividad de mayor interés en su estudio. Esta estimación preliminar puede basarse en el criterio; o bien, mediante las primeras observaciones del estudio, puede hacerse la estimación preliminar de P_i.
3. Calcule el tamaño de la muestra requerida, utilizando para ello los valores de *I*, *C* y P_i y aplicando la siguiente expresión:

» - » (1)

N _ 4q»P,(1 - P.) (2)

en donde P_i es la proporción del tiempo dedicado a la actividad *i*, y alfa es un factor que se obtiene a partir de la tabla de probabilidades para la distribución normal, para el valor elegido de *C*.

Para *C* = 0.90, a = 1.645, y la ecuación (2) se reduce a:

$$N = 4(1.645)^Z P_i(1 - P_i) = 1Q.8P,(1 - PT) \quad (3)$$

Las ecuaciones (2) y (3) proporcionan un valor aproximado del tamaño de la muestra requerida, a fin de que se verifique el valor especificado del error de muestreo.

Para fijar ideas acerca de la aplicación de este método, veamos cómo se aplica al problema del departamento de ingeniería que hemos venido tratando. En este caso, tomando en cuenta la naturaleza del objetivo y las decisiones a que servirá de base, parecen adecuados los siguientes valores: *I* = 0.06 y *C* = 0.90. Puesto que en este caso, el principal objetivo es la proporción del tiempo dedicado a actividades delegables (P_i), el valor de *N* debe determinarse, para este estudio, a partir del valor requerido para que el error de muestreo de P_i quede dentro del nivel especificado. Con el fin de obtener la estimación preliminar de P_i, pueden emplearse las

primeras 200 observaciones, y aplicando la ecuación (3) a esta etapa del estudio, que es cuando el valor acumulativo de P_{ii} adquiere el valor 0.35 (véase la figura 93, para $N = 200$), obtenemos:

$$_ \quad \frac{10.8\, P_f(1 - P_j)}{P} \quad _ \quad \sim \quad \frac{10.8(0.35)\,(0.65)}{(0.06)^2} \quad _ \quad \sim$$

o sea que, para que se satisfaga el requerimiento del error de muestreo, son necesarias 790 observaciones. (Valor que es considerablemente mayor que las 500 observaciones realmente hechas; por tanto, considerando el asunto retrospectivamente, parece que las 500 observaciones, número que el diseñador del estudio, con base en su simple criterio, había considerado adecuado, conducen a un error mayor que el que se había considerado como razonablemente tolerable.) Apliquemos la ecuación (1) para estimar la magnitud del error de muestreo correspondiente *a*. $N = 500$; para lo cual vemos que el intervalo de confianza realmente alcanzado para P_i es de:

I == * ^ H P » _ 1(Ij64S) ^ - ««71.

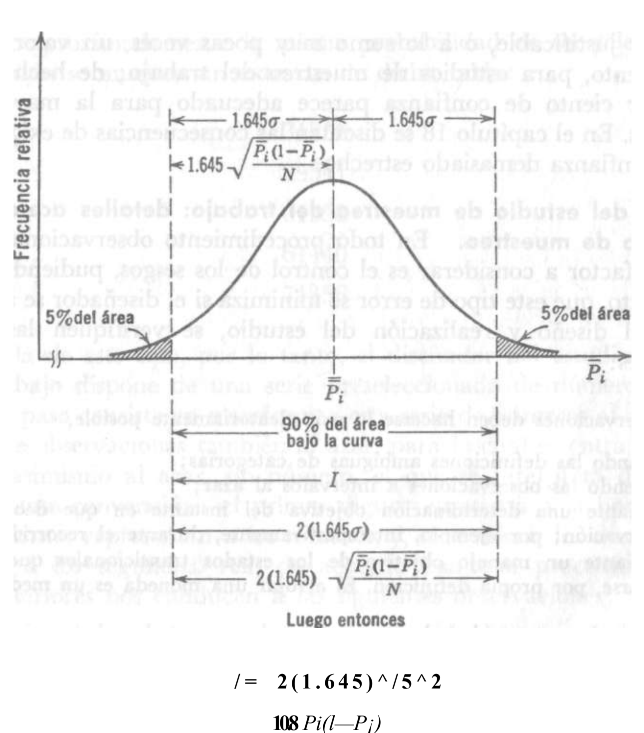
para $C = 0.90$.

Las ecuaciones (1), (2) y (3) se obtienen a partir de la teoría elemental de muestreo. Respecto a la distribución de P_i, se sabe que es similar a la mostrada en la figura 92, para la que, sin mucho error, podemos tomar como valor aproximado la distribución binomial, la que a su vez puede valuarse aproximadamente a partir de la distribución normal, bajo circunstancias ordinarias. En la figura 94 se ha superpuesto el intervalo de confianza a la distribución normal, mostrando el origen de las ecuaciones dadas para la estimación del tamaño de la muestra. Deberá tenerse presente que la desviación estándar de la distribución de muestreo binomial está dada por:

$$\sqrt{\frac{W - P_i)}{N}} \qquad (4)$$

en donde P_i es la proporción verdadera. En la ecuación (1), P_i se sustituye por P_i, ya que en la práctica debe emplearse una estimación de la proporción verdadera, siendo P_i la incógnita. Como P_i obviamente está sujeta al error de muestreo, éste trasciende al valor de *N*, calculado mediante la ecuación (2), lo que explica que dicha ecuación sólo nos dé un valor aproximado. La confiabilidad de la estimación proporcionada por la ecuación (2) fundamentalmente depende de la confiabilidad de P_i, por lo que, bajo estas circunstancias, lo recomendable es recalcular periódicamente a *N*, durante la recopilación de los datos, con lo que se logra una estimación más confiable de P_i, durante esta fase del estudio, a medida que aumenta el número de observaciones acumuladas. Por ejemplo, *N* puede estimarse durante la

etapa inicial del estudio, digamos después de las primeras 100 observaciones, siendo posible que para dicho instante la ecuación (2) indique que deben tomarse 800 observaciones. Una vez que se acumule un total de 500 observaciones, se puede proceder a una reestimación de N, empleando para ello la ecuación (2) y con base en un valor más confiable de P_i. Este proceso convergente se continúa hasta que el observador se considere satisfecho.



/= 2(1.645)^/5^2

108 Pi(l—Pj)

Figura 94. Ilustración del origen de las ecuaciones (2) y (3), aceptando un nivel de confianza de 90 por ciento.

Los métodos abreviados para el cálculo de *N,* tales como tablas, gráficas y cartas de alineación, ya están disponibles, actualmente y tienen como principal objeto eliminar la necesidad de aplicar la ecuación (2). Durante la discusión de los refinamientos al procedimiento básico del muestreo del trabajo, haremos mención de estas técnicas abreviadas.

Una elección inteligente de los valores de *I* y *C* es de vital importancia para la economía y competitividad de la técnica del muestreo del trabajo. La selección del intervalo y coeficiente de confianza para una situación dada, en último análisis, es una decisión de carácter económico, pero de complejidad tal, que para tomarla no bastan las simples deliberaciones, sino que el buen criterio es un elemento importantísimo para los fines prácticos. Nunca estará por demás insistir en que la decisión que se tome depende

de la importancia del uso de las estimaciones; por lo que, ante todo, tal decisión depende de la naturaleza del estudio en cuestión. Igualmente, es sumamente nocivo el uso arbitrario de los valores para el intervalo y coeficiente de confianza, pues suele ser una práctica común tomarlos de algún texto, o emplear los valores acostumbrados en otros campos. Por ejemplo, en algunos campos ha demostrado ser conveniente un valor de 99 por ciento del nivel de confianza; en otros, el 95 por ciento; sin embargo, de ninguna manera es justificable, o a lo sumo muy pocas veces, un valor mayor del 95 por ciento, para estudios de muestreo del trabajo; de hecho, un nivel de 90 por ciento de confianza parece adecuado para la mayoría de las situaciones. En el capítulo 18 se discuten las consecuencias de exigir un intervalo de confianza demasiado estrecho.

Diseño del estudio de muestreo del trabajo: detalles acerca del procedimiento de muestreo. En todo procedimiento observacional detallado, el primer factor a considerar es el control de los sesgos, pudiendo decirse, a este respecto, que este tipo de error se minimiza si el diseñador se asegura que durante el diseño y realización del estudio, se verifiquen las siguientes condiciones:

1. Las observaciones deben hacerse lo más aleatoriamente posible,
   a. evitando las definiciones ambiguas de categorías;
   b. haciendo las observaciones a intervalos al azar;
   c. mediante una determinación objetiva del instante en que debe hacerse la observación; por ejemplo, intempestivamente, durante el recorrido;
   d. mediante un manejo objetivo de los estados transicionales que no pueden evitarse, por propia definición. El arrojar una moneda es un medio aceptable.
2. Minimizar la oportunidad de que el operador prevea las observaciones,
   a. espaciando al azar las observaciones;
   b. hacer la observación tan pronto como la operación esté a la vista del observador, a medida que se va acercando al lugar de trabajo;
   c. haciendo una observación casual de los distintos trabajadores, en el caso de que tenga que hacerse más de una observación por viaje.

Otro detalle importante con respecto a las observaciones, que debe tomarse en cuenta durante esta fase del diseño del estudio, es la programación de las observaciones. Una vez que se ha estimado el número de observaciones y que se ha seleccionado el período de observación representativo, conviene proceder a distribuir las N observaciones a lo largo de ese tiempo. Ordinariamente, las N observaciones se distribuyen uniformemente entre los días seleccionados; así, si la estimación preliminar de N es de 500 observaciones, y se ha seleccionado un período tentativo de 10 días de trabaje, deberán tomarse 50 observaciones por día. Este método es el usualmenta seguido, porque presenta la ventaja de que no hay días en que se requiera tomar un numero excesivo de observaciones; sin embargo, como explicaremos posteriormente, este método también resulta conveniente por razones estadísticas.

Usualmente, las observaciones se distribuyen al azar a lo largo de un día de trabajo, para cuyo fin son muchos los procedimientos disponibles, siendo el que parece más adecuado para estos fines, el uso de una tabla de números al azar, la que aparece en la mayoría de los textos y manuales de Estadística. El tipo de tabla apropiado es el que se obtiene a partir de una distribución rectangular, ya que los números del cero al nueve deben tener aproximadamente la misma probabilidad de ser seleccionados. A continuación se muestra un extracto de dicha tabla:

31258

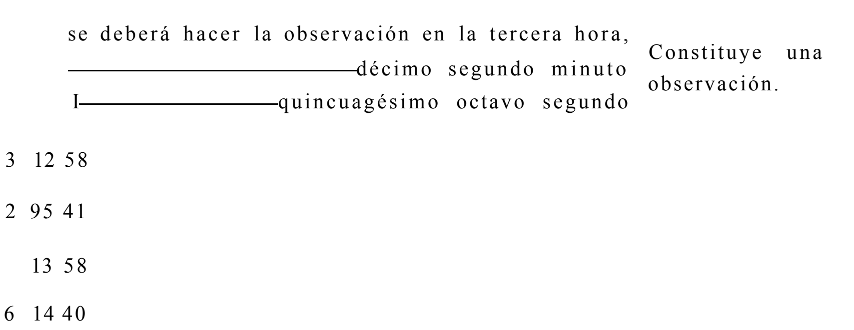
29541

01358

61440

71356

En una tabla de este tipo, por lo tanto, el diseñador del estudio de muestreo del trabajo dispone de una serie preseleccionada de números al azar. El siguiente paso consiste en transformar esta serie de números al azar en un programa de observaciones también al azar, para lo cual se entra a la tabla y se elige, asimismo al azar, un número, el que se interpreta de acuerdo con la siguiente convención: el primer dígito representa a la hora del día, los dos siguientes representan a los minutos, y, si se desea, los dos siguientes representan a los segundos. Así, de acuerdo con este procedimiento, los números anteriores nos conducen a las siguientes observaciones:



En el segundo caso la observación se hará en la segunda hora, quincuagésimo cuarto minuto (el nueve se descarta) y décimosegundo. En el tercer caso, la observación se hará en la primer hora, trigésimoquinto minuto y décimocuarto segundo. (El 8 y el 6 no se toman en cuenta.)

Posteriormente se procede a ordenar en forma cronológica hasta completar la programación de todas las observaciones.

Después de que el observador haya establecido el programa para las observaciones, diseñado la hoja de observación, rutas a seguir, y demás

detalles observacionales, estará en condición de iniciar la fase de recopilación de datos de su estudio.

Procesado de los datos. La fase del estudio referente al procesado de los datos consistirá en, cuando menos, un cálculo de P_i, y esto bien puede hacerse empleando uno cualquiera de los procedimientos gráficos o analíticos, con los que pueden tratarse ventajosamente los estudios de muestreo del trabajo. Posteriormente, discutiremos algunos de estos procedimientos convencionales, bajo el encabezado de perfeccionamiento de la técnica de muestreo del trabajo.

La fase del estudio del muestreo del trabajo a que nos estamos refiriendo, no necesariamente debe hacerse después de la etapa de recopilación de los datos, sino que puede hacerse simultáneamente con ella. Por ejemplo, a medida que los datos se van recopilando, simultáneamente puede hacerse la representación gráfica de los valores acumulativos diarios de P_i, procediendo en la forma mostrada en la figura 93. O también, de acuerdo con el método que anteriormente se sugirió, pueden hacerse reestimaciones sucesivas de N, a partir de los valores cada vez más confiables de P_i; asimismo, conviene que el valor de P_i y el valor asociado de I, calculado mediante la ecuación (1), se revisen periódicamente durante la fase de recopilación de los datos. La razón de esto último está en que en algunos casos llega a ser obvio que F¡ e / son tales que las observaciones adicionales no afectarían a la decisión definitiva y que, por lo tanto, carece de sentido continuar el estudio. Por ejemplo, supongamos que se está llevando a cabo un estudio de muestreo del trabajo, a fin de determinar los recursos humanos necesarios en una cierta situación, y que después de que el estudio ha progresado, se ha recopilado un cierto número de observaciones, que permite concluir que para el valor correspondiente de P_i, bastaría una cuadrilla de 3.6 ó, para fines prácticos, 4 trabajadores; cualquier prolongación del estudio nos llevaría a la conclusión práctica citada, ya que, de acuerdo con los valores de P_i e I, es muy poco probable que un número adicional de observaciones nos lleve a la conclusión de que se requieren tres, o cinco hombres. Este ejemplo, además, sirve para indicarnos la falta de sentido que tendría proceder de acuerdo con un método inflexible acerca de los requerimientos del error de muestreo pues esto perfectamente puede variar de un estudio a otro.

Niveles de perfeccionamiento en la aplicación de muestreo del trabajo

Los perfeccionamientos que pueden hacerse respecto al muestreo del trabajo, varían dentro de un amplio rango de niveles; teniéndose en uno de los extremos la versión extrictamente informal, con el proceso de muestreo del trabajo libre de toda característica opcional. Hasta este momento no se ha establecido ningún programa formal para las observaciones, haciéndose éstas cada vez que lo permite el proceso rutinario de las operaciones y que brinda la oportunidad de que el observador se acerque al lugar de

trabajo; se puede apreciar que las únicas evidencias de que se está llevando a cabo un estudio son unas ligeras señales en la oficina del observador y, tal vez, un trozo de papel en el bolsillo del mismo. El muestreo del trabajo también puede emplearse para hacer una estimación burda, rápida y económica de la utilización del tiempo; por ejemplo, para verificar las exigencias del personal, acerca de que se necesitan más máquinas sumadoras o más teléfonos, o verificar la sospecha de que determinado trabajador únicamente trabaja el 50 por ciento de su tiempo, etc.

En el otro extremo tenemos la versión más elaborada de la técnica, en la que se emplean todos los refinamientos y artificios conocidos, no siendo raro encontrar que el estudio se ha diseñado muy cuidadosamente, empleando "diseños experimentales" relativamente complicados, numerosos parámetros estadísticos, gráficas y análisis. El procedimiento correcto es un término medio de este rango de niveles de refinamiento y formalidad, y corresponde al delineado en la sección precedente de este capítulo. Es muy importante que el diseñador del estudio de muestreo del trabajo seleccione un nivel de aplicación que sea congruente con las demandas de la situación en cuestión, ya que de lo contrario, se puede caer en el error denominado "técnicas sobreaplicadas", y, como es de esperar, las formalidades empleadas, al igual que los costos incurridos no corresponden a la confiabilidad que puede garantizarse; o bien, el nivel de aplicación de las estimaciones obtenidas es tan reducido, que resultan inaplicables para la toma de decisiones en situaciones más complejas.

Perfeccionamientos del muestreo del trabajo; muestreo estratificado. Hasta ahora hemos supuesto que todos los estados de actividad tienen la misma oportunidad de ser observados a lo largo del período de estudio; sin embargo, suele presentarse el caso de que existen períodos de tiempo en los que P_i es apreciablemente diferente, por lo que un estudio que distribuya al azar las observaciones durante ese período, lo único que hace es incrementar el error de P_i en ese intervalo de estudio. Por ejemplo, supongamos que la proporción usual del tiempo consumido en retrasos *(PD)* durante los diferentes días de la semana, para cierto caso, son como se muestra en la siguiente tabla, en la que al mismo tiempo se muestra el número de observaciones hechas en cada día (debido a una distribución al azar de las observaciones durante todo el período de estudio).

	Pi	N
Lunes	0.15	56
Martes	0.14	42
Miércoles	0.12	57
Jueves	0.14	44
Viernes	0.16	51
		250

La variancia de la estimación de $P_{¿}$, para la semana, consta de dos componentes, una de las cuales es resultado exclusivo del muestreo, mientras que la segunda se debe a la distribución al azar de las observaciones durante los diferentes días, teniendo los $P_{¿}$ para los diferentes días, diferentes factores de peso (o de ponderación).

En el ejemplo anterior, $P_{¿}$ = 0.15 para el lunes, con un factor de ponderación de 56/250 = 22%, para la estimación de $P_{¿}$ para toda la semana; $P_{¿}$ = 0.14 para el martes, con un factor de ponderación de 42/250 = 17%, etc. Si hiciésemos otras 250 observaciones adicionales, distribuidas al azar durante los mismos cinco días, variaría el número de observaciones por día y, con ello, el factor de ponderación para los P_D para cada uno de los días. Luego, las variaciones al azar de un ensayo a otro se traducen en un incremento de la varianza de $P_{¿}$ para toda la semana.

Para evitar esta y otras consecuencias indeseables, siempre que se sepa o sospeche que $P_{¡}$ es apreciablemente diferente para los diversos períodos cubiertos por el estudio, por ejemplo, que la probabilidad de los retrasos sea diferente para los diferentes días de la semana o para las diversas horas de un mismo día, deberá elegirse el procedimiento de muestreo estratificado. Con el fin de ilustrar esto, supongamos que para un estudio de muestreo del trabajo, con referencia a los retrasos de un operador de cierta máquina, se estima que la proporción de los retrasos es aproximadamente la misma en las primeras y última hora de trabajo, mientras que para las seis restantes, dicha relación es considerablemente mayor. Bajo estas circunstancias, el procedimiento recomendado sería el siguiente:

1. Separar las observaciones hechas en cada día estudiado.

2. Separar las observaciones hechas durante la primera y última hora de trabajo del operador, que en lo sucesivo denominaremos período *A,* de las hechas durante las seis horas restantes, a las que en lo sucesivo llamaremos período *B.*

3. Asignar las observaciones durante esos períodos, proporcionalinente a la fracción de semana que representan. Por ejemplo, si durante la semana van a hacerse 1000 observaciones (semana inglesa), deberán tomarse 200 observaciones diariamente; ahora bien, de estas 200, las correspondientes al período *A* son 200 X % = 50 observaciones, mientras que las correspondientes a cada uno de los períodos *B* son 200 X % — 150 observaciones. Dentro de cada uno de esos intervalos, las observaciones se distribuyen al azar.

4. Para estimar la proporción del tiempo consumido en retrasos, deberán emplearse los valores de $P_{¿}$ para cada uno de los períodos establecidos, multiplicados por el factor de ponderación correspondiente, el que a su vez está definido por la fracción de semana que representa. A este respecto conviene observar que, debido a que el tiempo representado por cada período y el número de observaciones en el mismo son proporcionales, las $P_{¿}$ de cada período se ponderan adecuada y automáticamente si suma-

rnos las observaciones de retraso hechas en cada período, y a la suma obtenida la dividimos entre el número total de observaciones (1000 en este caso). A continuación, se muestran los resultados del estudio para una semana.

Estudio de muestreo del trabajo para los retrasos del maquinista. Resumen de los resultados

	Período A		Período B	
Día	Retrasos observados	Observaciones tomadas	Retrasos observados	Observaciones tomadas
I	16	50	31	150
II	15	50	28	150
III	13	50	18	150
IV	13	50	22	150
V	15	50	29	150
	72	250	128	750

Si la $P_{¿}$ de cada período muestreado es ponderada por el número de observaciones asignadas al período respectivo (el que a su vez es proporcional al tiempo involucrado), durante la semana, tendremos:

$$Pd = \frac{5 \quad \{Pía \times N_u) + (P_{IB} \times N_{1B}) + (P_{,,}A \times N_{IIA}) + \cdots (P_{VB} \times N_{VB})}{_}$$

$$\bullet \quad _ \; \frac{(3 \times 50) + (j \times 150) + (f \times 50) + \cdots (| \times 150)}{1000}$$

$$\tilde{-} \; \frac{16 + 31 + 15 + \quad 29}{1000}$$

5. Una estratificación de las observaciones, en la forma ilustrada en la tabla de resultados, permite estimar a $P_{¿}$ para cada uno de los períodos, así como una comprobación de estos últimos valores $(P_{¿})$ para la significancia de las diferencias. Asimismo, la segregación de las observaciones permite aplicar las cartas o gráficas de control a los valores diarios de *Pd,* como lo veremos posteriormente.

Algunas veces resulta conveniente otro tipo de segregación; por ejemplo, supongamos que en el estudio de muestreo del trabajo para el departamento de ingeniería se sospecha que Pd (la proporción de tiempo delegable) es apreciablemente diferente para cada una de las tres secciones involucradas. Si las observaciones se asignasen al azar a esas secciones, y si para estimar *PD* para todo el departamento, simplemente sumásemos los valores de $P_{,¡}$ de las distintas secciones, el factor de ponderación de cada uno de los va-

lores de P_d variaría al azar, lo que se traduciría en un incremento de la varianza de $P_{¿}$ para toda la población. Análogamente, una falla en la segregación de las observaciones, o no realizarla, para cada sección, impedirá un análisis de los datos con el objeto de aislar las diferencias significantes en Pd entre las secciones involucradas. Por consiguiente, es altamente recomendable estratificar la población, utilizando las secciones *A, B* y *C* del departamento, como subpoblaciones, y asignar las observaciones a cada una de ellas proporcionalmente al número de ingenieros; así, si van a tomarse 500 observaciones, y en las secciones, *A, B* y *C,* respectivamente se emplean 25, 30 y 20 ingenieros, las 500 observaciones deberán asignarse en la siguiente forma:

Sección	Fracción del personal total	Número de observaciones
A	[illegible]	167
B	[illegible]	200
C	[illegible]	133
		500

A su vez, para estimar a Pd para todo el departamento, deberá multiplicarse a cada una de las Pd de las distintas secciones por un factor de ponderación, el que está definido por la relación entre el personal de la sección y el de todo el departamento.

En general, por consiguiente, cuando se sabe, o se sospecha que P_j varía considerablemente durante el período estudiado, entre las diferentes poblaciones parciales de hombres y máquinas en estudio, deberá optarse por un plan de muestreo estratificado, de acuerdo con la siguiente notación:

T = período total, o tiempo comprendido por el estudio,
t_j = cantidad de tiempo correspondiente al jotaésimo subperíodo (estrato),
M = número total de hombres o máquinas por estudiar, y
M_j — número de hombres o máquinas en el jotaésimo estrato (subpoblación o subgrupo),
N = número total de observaciones tomadas durante el período T,
N_j = número de observaciones asignadas al jotaésimo estrato,
P_i = proporción del tiempo dedicado a la actividad i, durante el período T,
N_i = número de observaciones tomadas de la actividad i, durante el período T,
P_i = N_i/N = la estimación de P_i,
p_{ij} = proporción del tiempo dedicado a la actividad i, en el jotaésimo estrato,
N_{ij} = número de observaciones tomadas de la actividad i, en el jotaésimo estrato,
~§ij — Níj/Nj = estimación de p_{ij},

¡a distribución de las observaciones se hará según el siguiente procedimiento:

i Seleccione los estratos de manera tal que $p,_{j}$ pueda considerarse como cons- $_{n}$te en el ;otaésimo intervalo y uniforme en el jotaésimo subgrupo. Deberán se- llarse las observaciones hechas en cada estrato, a fin de poder calcular p_{ij}.

' 2. Asigne proporcionalmente N a esos estratos, de manera que

$$N, = N(A) \quad (5,$$

sea que

siempre que esto sea posible. (La mejor distribución de N sería con base en p_{j}<; sin embargo, la reducción que con ello se obtendría del error de muestreo y/o N, parece no justificar, en la mayoría de los casos, !os correspondientes cálculos adicionales.)

3. Distribuya al azar, dentro de cada estrato, las N_{j} observaciones.

4. Bajo estas circunstancias, se afecta a cada una de las $p_{j}/$ de un factor de ponderación que depende de la longitud o tamaño del estrato, para así proceder al cálculo de P_{j}. *Así*

(7)

ecuación que se reduce a la siguiente, en el caso de que N_{j} resulte proporcional ai/ (en este caso, se dice que se trata de muestreo estratificado proporcional):

(8)

Si la estratificación es conforme a hombres o máquinas,

(9)

lo que se reduce a

- £ N "
N

S1 **se** usa **el** muestreo estratificado proporcional.

5. La varianza de P_{j}, bajo estas circunstancias, es

que se reduce a

$$^{s}f' = Jf \; ¿ \quad - \quad fin) \qquad (12)$$

fr> el caso de que se use el muestreo estratificado proporcional. Esta es la fórmula aPropiada para la estimación de la variancia de P_{j}, cuando se usa el muestreo es-

iratificado proporcional. El uso de la fórmula [P¡(1 — *P,)* J/A[1]' para estimar *ff-p*^{2} cuando se usa el muestreo estratificado proporcional, equivale a una reconsideración de la varianza y del número de observaciones necesarias para satisfacer los requerimientos de confianza dados.[1]

En general, el muestreo estratificado, con asignaciones de las observaciones proporcionales a *t¡* o a M¡, ofrece un medio para reducir el error de muestreo, un programa de muestreo más convencionalmente ejecutado, una serie de *~p¡¡* a las que fácilmente puede aplicarse la técnica convencional de las cartas de control, y una oportunidad de probar los resultados respecto a variaciones significantes de *P¡,* con tiempos y subgrupos de la población de sujetos u objetos estudiados. Parece adecuado estratificar para casi la mayoría de los estudios de muestreo del trabajo, cuando menos dentro de los ámbitos del muestreo estratificado proporcional de días o turnos.

Aún quedan por tratar muchas dudas y perfeccionamientos; sin embargo, únicamente se presentan en casos complicados y son de naturaleza especial, por lo que, en tales circunstancias, lo mejor es recurrir a un estadístico profesional, a fin de lograr el plan de muestreo conveniente.

Perfeccionamientos del muestreo del trabajo; procesado de los datos. Además de los cálculos necesarios para *J>¡¡* y *P¡,* el intervalo de confianza resultante, y el número necesario de observaciones adicionales en el caso de que dicho intervalo no resulte adecuado, el procesado de los datos, tanto durante el período de observación como al final del mismo, puede incluir lo siguiente.

1. Una representación gráfica de los valores acumulativos de *P¡,* en términos de las *N* acumuladas, a medida que el estudio progresa, en la forma anteriormente discutida y conforme a lo ilustrado en la figura 93. Esta construcción gráfica muestra las mejoras progresivas así como la estabilidad creciente de *P¡,* a medida que aumenta el número de observaciones acumuladas *N,* y es por esto que algunas veces también sirve para decidir si se ha hecho el número suficiente de observaciones; bien sea en lugar de, o conjuntamente, con la ecuación (2) que se introdujo al principio de este capítulo.

2. Aplicación de la técnica de las cartas de control, la que inicialmente fue desarrollada para procedimientos de muestreo de la calidad, a ~p¡¡. Básicamente, la forma en que aquí se aplica la carta de control es una representación gráfica de los valores sucesivos (cronológicamente) de *~p¡¡,* a partir de la cual es posible detectar las tendencias y ciclos de P¡, así como la anormalidad de una J¡¡. En la siguiente figura se muestran los resultados de un estudio de muestreo del trabajo, efectuado con el fin de estimar el

[1] Este procedimiento de estratificación se basa en las ideas presentadas en "Some Statistical Considerations in Work Sampling", de Richard W. Conway, *Journal of Industrial Engineering,* vol. 8, número 2, marzo y abril de 1957.

porcentaje del tiempo realmente dedicado a reparaciones, en un taller dedicado a esta clase de operaciones.

i (día)	p_i	i (día)	p_i
I	0.74	IX	0.43
II	0.80	X	0.77
III	0.62	XI	0.84
IV	0.66	XII	0.83
V	0.76	XIII	0.63
VI	0.81	XIV	0.70
VII	0.70	XV	0.74
VIII	0.71		

Durante esos 15 días se tomaron 50 observaciones en cada uno de ellos, y mediante una carta de control, se registraron gráficamente las proporciones diarias (p_i), tal y como se muestra en la figura 95. Se calcularon tres

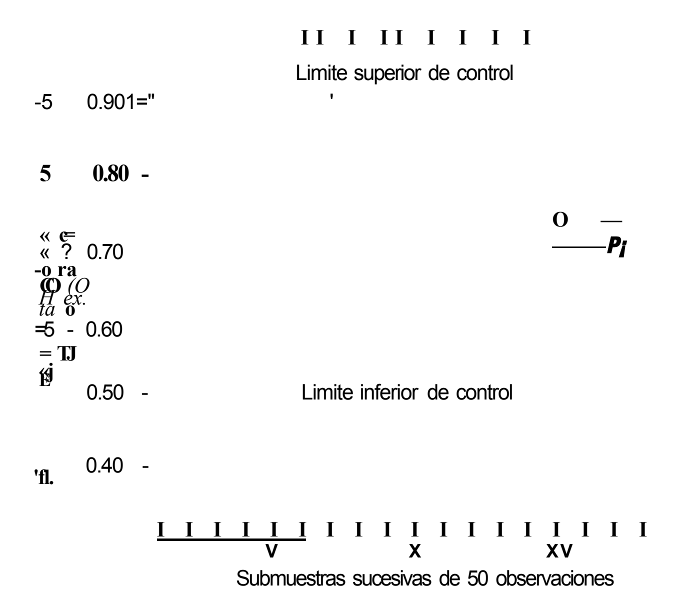


Figura 95. Carta de control para las estimaciones diarias de la proporción del tiempo dedicado a trabajo productivo, en un muestreo del trabajo para un taller de reparaciones. El tamaño de la muestra es constante y consiste en 50 observaciones diarias.

desviaciones estándar (límites de control), a partir de

$$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.717 \pm 3\sqrt{\frac{0.717(1-0.717)}{50}} = 0.717 \pm 0.192.$$

que se aplican aquí, ya que son convencionales en el campo del control de la calidad, aunque no siempre resulta esto adecuado para el muestreo

del trabajo. El significado de estos límites es el siguiente: si una "p_{ij} cae fuera de los límites de control, como ocurrió para el día IX, existe muy poca probabilidad de que este evento sea un resultado del azar; en otras palabras es muy probable que = 0.43 sea el resultado de alguna circunstancia

Figura 96. Carta Je alineación para una estimación rápida del tamaño de la muestra, dados v7 = 0.90, *Pi,* e *I;* o_para la estimación de *I,* dados *C* = 0.90, P_i, y *N.* Como ilustración, supongamos que *Pi* = 0.10 y que *I* = 0.04. El valor de *N* se obtiene prolongando la recta que pasa a través de estos dos puntos, hasta que intersecte la escala de *N*- En este caso, como lo Indica la línea discontinua, *N* resulta ser de 610 unidades. Esta carta es en realidad un nomograma para resolver la expresión I = 2(1.645) X

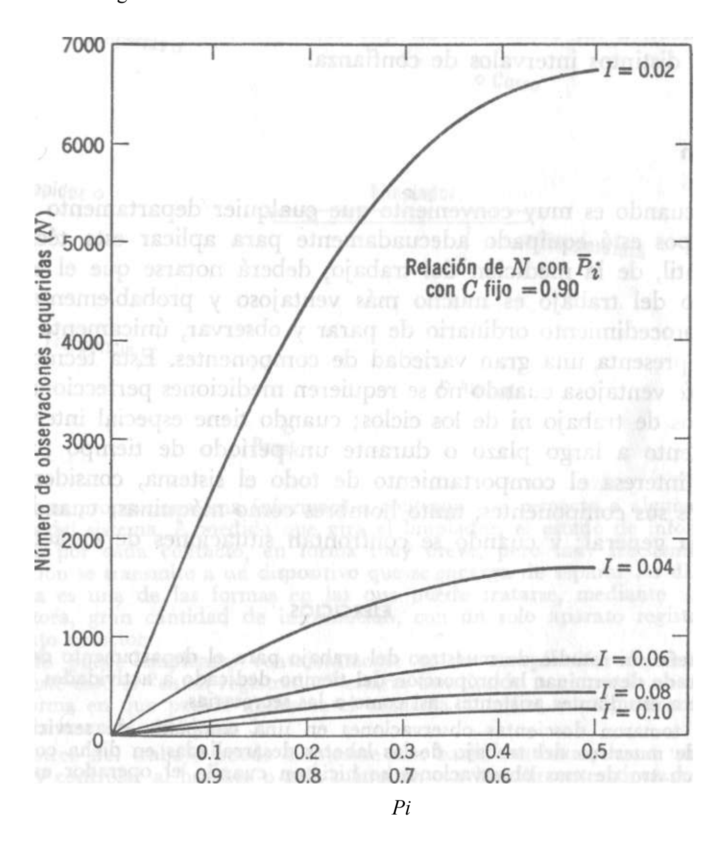
completamente especial ocurrida durante ese día, y de que las Ja involucradas no sean homogéneas.

3. Una vez que se ha usado el muestreo estratificado, pueden **probarse** las Ja resultantes respecto a la significancia de la diferencia, empleando las técnicas convencionales de la Estadística. Por ejemplo, en el estudio de muestreo del trabajo del departamento de ingeniería, las estimaciones

de las proporciones del tiempo ocioso par? las tres secciones, son las siguientes :

Sección	p_i
A	0.083
B	0.041
C	0.045

en cuyo caso, la gerencia puede muy bien interesarse en saber si el 8.3 porciento es o no significativamente alto.



Figuro 97. Curvas para estimar *N*, para *C* = 0.90 y valores de *I* de 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 y 0.10.

Técnicas abreviadas. Existe un gran número de procedimientos abreviados los que reducen considerablemente el tiempo para hacer los cálculos frecuentemente requeridos en un estudio de muestreo del trabajo, así como los requeridos durante el procesado de los datos. Uno de tales auxiliares es la conocida carta de alineación, mostrada en la figura 96, para estimar el tamaño de la muestra requerida, aceptando que *C* = 0.90. y que P_i e *I* son datos, este último en forma de intervalo absoluto. La carta de alineación

también puede emplearse para calcular *I*, dados P_i, *N* y *C*, o para encontrar los límites de una carta de control.

La gráfica puede emplearse para un cálculo rápido de *N*, tal y como se ilustra en la figura 97, para *C* — 0.90 y diversos valores de *I*; asimismo, dicha figura muestra las consecuencias de exigir un intervalo de confianza inecesariamente estrecho. Nótese el incremento del tamaño de la muestra para P_i = 0.5, si el intervalo de confianza se reduce de 0.04 a 0.02. Evidentemente, es preferible el empleo del método gráfico para el cálculo de N, en vez de la fórmula, tabla, y carta de alineación, porque muestra en forma efectiva las consecuencias que sobre el tamaño de la muestra tiene emplear distintos intervalos de confianza.

Resumen

Aun cuando es muy conveniente que cualquier departamento de estudio de tiempos esté equipado adecuadamente para aplicar esta técnica, realmente útil, de la medición del trabajo, deberá notarse que el empleo del muestreo del trabajo es mucho más ventajoso y probablemente superior, que el procedimiento ordinario de parar y observar, únicamente cuando el sistema presenta una gran variedad de componentes. Esta técnica es especialmente ventajosa cuando no se requieren mediciones perfeccionadas de los elementos de trabajo ni de los ciclos; cuando tiene especial interés el comportamiento a largo plazo o durante un período de tiempo prolongado; cuando interesa el comportamiento de todo el sistema, considerando a la vez todos sus componentes, tanto hombres como máquinas; cuando se desea una idea general; y cuando se confrontan situaciones de carácter similar.

EJERCICIOS

1. Diseñe un estudio de muestreo del trabajo para el departamento de enseñanza, con el fin de determinar la proporción del tiempo dedicado a actividades que podrían delegarse a estudiantes asistentes, así como a las secretarias.

2. Se tomaron doscientas observaciones en una compañía de servicio, para un estudio de muestreo del trabajo de las labores desarrolladas en dicha compañía. Sesenta y cuatro de esas observaciones se hicieron cuando el operador estaba ocioso. Se investiga el número de observaciones adicionales que deben hacerse, a fin de que el error de muestreo de la estimación de la proporción de tiempo ocioso ha sido especificado como el correspondiente a *I* = 0.06 y *C* = 0.90. ¿Cuál es el intervalo de confianza para la estimación actual de la proporción del tiempo consumido en ociosidad, cuando *N = 200 y C* = 0.90?

3. Prepare una gráfica que muestre la relación entre *P* y *N*, para un intervalo dt confianza de 0.05 y un coeficiente de confianza de 0.90.

4. _Prepare una representación gráfica de la relación que existe entre / y *N*, para una *P* de 0.1 y 0.5, con *C* = 0.90.

5. Una situación que frecuentemente se presenta en la especialidad de diseño de métodos y mediciones del trabajo, consiste en observar simultáneamente a un determinado número de personas que trabajan en actividades concurrentes e interdependientes, por ejemplo, una cuadrilla de hombres en operación. Supongamos que el ingeniero desea observar una cuadrilla base en acción, en una terminal aérea, o a la cuadrilla dedicada a un proceso elaborado de impresión, o a un cirujano y su cuadri-

lia de ayudantes, o una cuadrilla encargada de revisar los aviones de una línea aérea; y que en cada instante desea saber qué es lo que hace cada elemento de la cuadrilla, así como la duración e interrelación de las diferentes actividades. Sugiera varios métodos para realizar este estudio y discuta las ventajas relativas de los mismos.

6. A menudo se emplea un dispositivo para mediciones complicadas de datos, así como para el registro de los mismos, o sistemas de transmisión, con el objeto de obtener un máximo de información con un mínimo de equipo. A este sistema suele llamársele muestreador de datos. En el esquema adjunto se muestra este mecanismo, el cual consiste en un "limpiador" que gira rápidamente y una serie de contactos.

Voltaje o

Amperios o

° Curso

Rapidez o

Limpiador

° Temperatura

Secuencia o

° Altitud

o Presión

Cada contacto proporciona una información continua con respecto a alguna de las características del sistema. A medida que gira el limpiador, el estado de información es muestreado por cada contacto, en forma muy breve, pero muy frecuentemente. Esta información se transmite a un dispositivo que se encarga de separar los diferentes impulsos. Esta es una de las formas en las que puede tratarse, mediante una sola línea conductora, gran cantidad de información, con un solo aparato registrador y un solo aparato detector.

Este método puede emplearse ventajosamente en la recopilación de datos; sin embargo, en este caso el "canal registrador" estaría constituido por un solo observador. Indique la forma en que podría aplicarse el esquema anterior, ventajosamente, a la situación descrita en el problema 5.

7. El muestreo del trabajo puede emplearse con bases continuas, como un medio para estimar y controlar al hombre o a la máquina, o a los diferentes tipos de costos. Diseñe un esquema que pueda proporcionar una estimación continua (y así, un medio de control) de las horas-hombre requeridas para el manejo de materiales, y la distribución de esas horas a los diversos tipos de tareas en una gran fábrica. Este estudio debe hacerse debido a que el manejo de materiales constituye un renglón muy importante de los costos y, por lo mismo, es de un interés grande y continuo para la gerencia.

REFERENCIAS

Allderige, J. M., "Work Sampling Without Formulas", *Factory,* Marzo 1954.

Barnes, R. M., *Work Sampling,* 2* Edición, John Wiley and Sons, Nueva York, 1957.

Halsey, John J., "A New Model For Work Sampling—The GREDS Theory", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 11, N' 6, Noviembre-Diciembre 1960.

Hansen, Bertrand L., *Work Sampling for Modern Management,* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. 1960.

Heiland, R. y W. Richardson, *Work Sampling,* McGraw-Hill Book Co., Nueva York, 1957.
Isherwood, J. D., "Labor Cost Analysis by Work Sampling in the Small Business", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 11, N' 5 Septiembre-Octubre, 1960.
Malcolm, D. G. y L. L. Sammet, "Work Sampling Studies: Guides to Analysis and Accuracy Criteria", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 5, N' 4, Julio 1954
McAllister, G. E., "Random Ratío Delay", *Journal of Industrial Engineering,* vol 4 N° 3, Agosto 1953.

Evaluación y mejoramiento del muestreo del trabajo

Creencias comunes respecto al costo y al error

El muestreo del trabajo es relativamente nuevo en el campo de la medición del trabajo, siendo aún muchas las compañías que aún no lo han adoptado, no obstante sus numerosas y valiosas aplicaciones a una gran variedad de problemas. En la actualidad, su potencial, así como sus limitaciones, generalmente no se comprenden, ni se aprecian en toda su magnitud. Muchas de las descripciones del muestreo del trabajo, especialmente aquellas que aparecieron durante los primeros años, daban lugar a malos entendimientos, citaban pretensiones injustificadas y presentaban enfoques prejuiciados acerca de su valor y aplicabilidad; particularmente notorias entre estas aseveraciones mal fundadas, son las pretensiones comunes, pero incompatibles de que el muestreo de trabajo ofrece un "costo menor" y "menos error". Algunos autores afirman que un estudio de muestreo de trabajo puede realizarse a un menor costo (probablemente de un estudio equivalente que implique una observación continua). Tales pretensiones existen a pesar de las siguientes circunstancias:

1. El muestreo del trabajo implica algo que es inherentemente un método de medición ineficaz, ya que ordinariamente se requiere una cantidad considerable de tiempo y viajes del observador, para obtener únicamente una medición *cualitativa;* por ejemplo: trabajando, o sin trabajar.
2. Los ingenieros son quienes frecuentemente hacen estas observaciones.
3. A pesar de lo que algunos libros de texto y artículos afirman, infantilmente, el tiempo que transcurre entre las observaciones espaciadas al azar,

no puede ser empleado por el observador para realizar algún otro trabajo; no puede esperarse que los intervalos de tiempo entre las observaciones se usen efectivamente, debido a que las observaciones en un muestreo de trabajo, representan ordinariamente interrupciones fortuitas y frecuentes del "otro trabajo", y a que mientras el observador va y viene del punto de observación, se presentan numerosas distracciones que consumen su tiempo.

4. Comúnmente se usan intervalos y coeficientes de confianza muy ajustados, lo que origina un tamaño de muestra muy grande.

Junto con la pretensión de un "costo menor", se incluye ordinariamente la de "menos error"; sin embargo, los escritores que tal cosa aseveran, se refieren únicamente al error en el muestreo. Ellos no mencionan, y de hecho no reconocen, los otros tipos de error; prejuicios y observaciones que no son representativos. Además, para obtener el pequeño error que se implica, es necesario una muestra de tamaño muy grande, y esto último contribuye poco a un bajo costo de medición. Por ejemplo, supóngase $P_i = 0.2$ y que se especifican un intervalo de confianza de 0.04 y un coeficiente de confianza de 95 por ciento. De acuerdo con la ecuación 2, esto requeriría $[4(2)^2 0.2(1 - 0.2)]/(0.04)^2$ o sea, 1,600 observaciones. Si cada observación requiere un promedio jde 10 minutos, se requerirían aproximadamente (1,600 obs. X 10 min./obs.) /(480 min./día); es decir, 33 días de tiempo de observación necesarios para obtener las 1,600 observaciones. Si suponemos que durante un viaje se hacen 5 observaciones, y que procediendo en esta forma aumenta el tiempo promedio por viaje a 15 minutos, el tiempo total requerido sería de 10 días.

No obstante que no es imposible, parece poco probable que *ambas* ventajas, costo menor *y* menor error, se puedan obtener simultáneamente en un estudio dado. El uso de un tamaño de muestra lo suficientemente grande como para obtener un error (de muestreo) menor, hace que aumente el costo de medición, mientras que intentar disminuir el costo, implica ordinariamente tamaños de muestra menores y/o menor número de observaciones o máquinas observadas por viaje. Lo primero aumenta el error de muestreo, y lo último, la posibilidad de que el observador haga observaciones tendenciosas.

Error en el muestreo del trabajo. No obstante la impresión que se obtiene de la mayoría de los autores, el error del muestreo no es el único que puede presentarse en el muestreo del trabajo. Además de ignorar los otros dos tipos restantes de error, una mayoría de los escritores hablan de exactitud, cuando es obvio por el texto, que lo que discuten se relaciona con el error de muestreo. Esta situación puede causar una confusión en la mente de aquellos lectores que estén conscientes de que el error de muestreo se ve afectado por el tamaño de la muestra, pero no la exactitud.

Probablemente debido a la influencia ejercida por los campos de la experimentación y control de la calidad, en los que se acostumbra usar niveles de significancia altos, los coeficientes de confianza que con frecuencia se usan en el muestreo del trabajo son irrealística y costosamente ajustados;

es verdad, que un nivel de confianza de 99, o aun al 95 por ciento parece injustificado para la mayoría de los fines prácticos, debido al costo resultante y al hecho de que los errores atribuibles a los prejuicios y a que las observaciones no son representativas, se ignoran, se desconocen y posiblemente son de una magnitud considerable; por tanto, sería más conveniente dedicar una porción mayor del costo total del estudio a minimizar y controlar los prejuicios, y una parte correspondiente menor a mantener el error de muestreo en un nivel desproporcionado.

Un argumento similar puede usarse en contra de los intervalos de confianza irrealísticamente ajustados; nótese que en la fórmula para estimar *N, N* es una función de $1/P$, de tal suerte que un aumento relativamente pequeño en el intervalo de confianza trae como consecuencia una reducción apreciable en *N.* Para ilustrar las consecuencias de cambio relativamente pequeñas de C e /, supongamos que en un estudio de muestreo del trabajo, la estimación inicial de P_i es 0.25 y que se consideran satisfactorios un intervalo de confianza de 0.05 y un nivel de confianza de .90. En la ecuación 3 de la página 313, el tamaño estimado de la muestra que se requiere es

$$N = \frac{(0.75)}{(0.05)^2} __ \text{gjQ observaciones.}$$

Supóngase ahora que el valor de *C* se aumenta a 0.95; bajo estas circunstancias, el tamaño estimado de la muestra, usando la ecuación 2 de la página 313, es

$$N = 4(2\ ;)\ [°_0f_5](_2°\text{-}75) = 1{,}200 \text{ observaciones.}$$

Supóngase ahora que se adopta la práctica común de establecer y aplicar el intervalo de confianza como un porcentaje de P_i, y quien diseñó el estudio desea que P_i esté entre ± 5% de P_i. En este caso, *I* es [2 X 0.25 X 0.05], o sea 0.05, y el tamaño estimado de la que se requiere, manteniendo por el momento *C* = 0.90, aplicando la ecuación 3, es

$$N = \frac{10\ 8(0.25)\ (0.75]\hat{}}{(0.02o)^2} _ \ 2\ 240 \text{ observaciones.}$$

Supóngase ahora que se aplican dos prácticas comunes; un nivel de confianza de 95% y un intervalo de confianza de "más o menos 5 por ciento". Bajo estas circunstancias el tamaño de la muestra es

$$N = \frac{4(2^2)\ (0.25)\ (0.75)}{(0.025)^2} = 4{,}800 \text{ observaciones.}$$

Los resultados de estos cambios en *C* e / se muestran en la tabla siguiente:

C/I	0.05	0.025
0.90	*N* = 810	*N* = 3,240
0.95	*N* = 1,200	*N* = 4,800

Un hecho realmente sorprendente con relación al error de muestreo, consiste en que el nivel de confianza de 95 por ciento y el intervalo de confianza de "más o menos 5 por ciento", se recomiendan comúnmente en libros de texto y revistas. El ingeniero del caso que se acaba de mencionar, empezó con C — 0.90 e I = 0.05 que son muy sensibles. Pero quizá al examinar algún libro o revista, él encontró las recomendaciones usuales; las consideró seriamente, e hizo lo que parecía ser un cambio pequeño de C = 0.95 e / = 0.025, y en esta forma, aumentó el tamaño de su muestra inicialmente razonable de 810 observaciones, a la cifra absurda de 4,800 observaciones. Una práctica no aconsejable y que fue comentada anteriormente, e ilustrada en el caso que se acaba de mencionar, es la de expresar al intervalo de confianza como un porcentaje de P_i; por ejemplo, I — 0.10 P_i. El efecto de esta práctica sobre el tamaño de la muestra se indica en la figura 98 mediante la curva *A,* la que muestra la consecuencia drástica de que P_i esté entre cero y 0.3 aproximadamente, lo cual no es raro que suceda. Cuando el intervalo de confianza se expresa como un valor absoluto, y es, en consecuencia, independiente del valor de P_i, N aún varía con P_i como lo indica la curva *B,* aunque no tan drásticamente. En este caso, N es un máximo cuando P_i = 0.5, ya que $P(1 — P)$ es un máximo. De esta comparación gráfica, resulta obvio que es preferible expresar al intervalo de confianza como un valor absoluto, en vez de como un porcentaje.

Aparentemente, y para facilitar la utilización más productiva de los períodos entre observaciones, algunos autores y practicantes de esta especialidad, han adoptado la práctica de observar a intervalos regulares, digamos cada media hora. Este procedimiento permite que los individuos a quienes se observa se percaten del instante de observación, y les da una amplia oportunidad de alterar su desempeño; adherirse a esta práctica conduce a una mayor oportunidad de criterios sesgados.

Además, si alguna de las actividades que se observan tiende a ser de una ocurrencia periódica o cíclica, por ejemplo, un trabajador que gusta de "tomar cinco minutos" de cada hora para fumar un cigarrillo, el uso de observaciones espaciadas regularmente conduciría con toda probabilidad a una sobre o subestimación de la proporción del tiempo dedicada a esta actividad cíclica. *Si* el espaciamiento y duración de una actividad fueran al azar, entonces las observaciones espaciadas regularmente no resultarían sesgadas, pero tal cosa no sucede comúnmente en la práctica; por consiguiente, y con el fin de evitar lo que pudiera ser un aumento considerable en los sesgos, las observaciones espaciadas al azar parecen ser lo más indicado.

Otra práctica que se ha hecho común en un intento de reducir el costo del estudio, consiste en observar a más de una persona (o máquina, según sea el caso) por viaje. Entonces, en cada viaje que hace, el interesado puede observar a cada uno de los trece operadores de materiales en el taller (o en el estudio de los ingenieros mencionados en la página 306, él pudiera observar cinco ingenieros por viaje, para reducir el número de viajes diarios, de veinticinco a cinco). Así, el conjunto de trece observaciones de trece diferentes operadores de materiales, se tiataría como si fueran trece observado-

nes diferentes, espaciadas al azar, de un operador de materiales. Desafortunadamente, no se justifica la suposición de que estas dos situaciones sean equivalentes. Cuando las observaciones se hacen en grupos (rondas), es probable que se presenten dos consecuencias adversas; a saber:

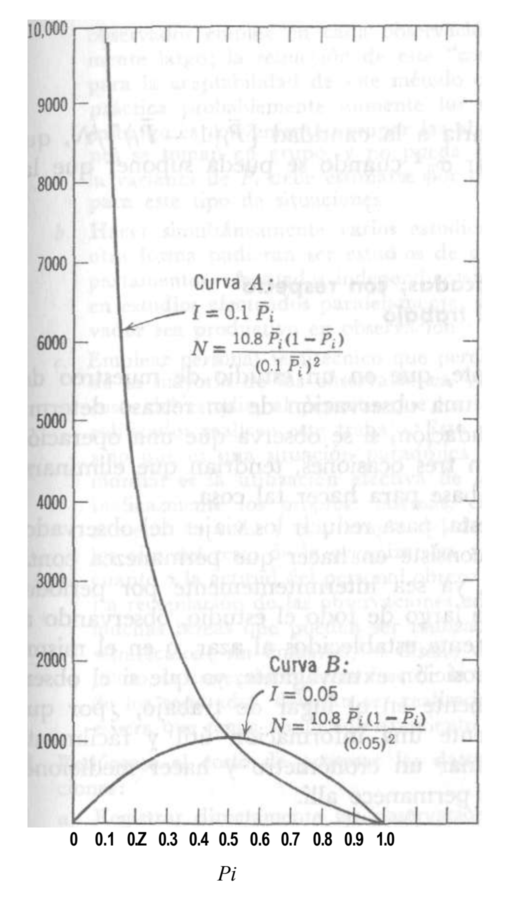


Figura 98. N como una función de de P_i, para los dos métodos de expresar el intervalo de confianza. **El** método con el que se obtiene la curva *B* es el que se prefiere.

1. Es fácil que los resultados del estudio sean sesgados, ya que no obstante de que puede existir un elemento de "sorpresa" al observar al primero de un grupo de m individuos, *m* — 1 de ellos están probablemente conscientes de la presencia del observador, teniendo así una oportunidad de alterar su desempeño.

2. Existe la probabilidad de que si en una ronda de observaciones determinada, se encuentra que un individuo se dedica a una cierta categoría de actividad, otros también estén ocupados en dicha actividad; por ejemplo, algunas causas de inactividad afectan a varias o a todas las personas de un grupo bajo observación. Esta correlación entre las observaciones, o falta de independencia de las mismas, ordinariamente origina que el modelo binomial produzca una subestimación de la varianza de P_i. Un autor ha propuesto el siguiente medio para estimar la varianza de P_i, cuando se sabe o se sospecha que existe una cierta dependencia entre las observaciones.[1]

N — numero total de observaciones;

m = número de individuos observados por viaje o ronda;

$n = N/m$, número total de viajes;

[1] R. W. Conway, "Some Statistical Considerations in Work Sampling", *Journal of Industrial Engineering,* Marzo-Abril, 1957.

N_{ik} = número total de observaciones de la actividad i en la ronda entonces N t k m;

N_i = número total de observaciones de la actividad i durante el estudio-

$< \; 2 \; _ \quad v \; (N^* \quad _ \; W$

$p_i \quad \sim N^2 \quad n \; i \; w \quad NJ$

Esta última exoresión reemplazaría a la cantidad $[P_i(1 — P_i)$, que se usa ordinariamente para estimar o-^ 2 cuando se pueda suponer que las observaciones son independientes.

Algunas ideas y prácticas equivocadas, con respecto al procedimiento del muestreo del trabajo

Un autor afirma, incorrectamente, que en un estudio de muestreo del trabajo, no debe incluirse más de una observación de un retraso determinado; ya que al seguir tal recomendación, si se observa que una operación se interrumpe durante una hora en tres ocasiones, tendrían que eliminarse dos de ellas, careciéndose de toda base para hacer tal cosa.

Otra práctica, falsamente propuesta, para reducir los viajes del observador durante un muestreo de trabajo, consiste en hacer que permanezca continuamente en el lugar de trabajo, ya sea intermitentemente por períodos de tiempo prolongados, o bien a lo largo de todo el estudio, observando al trabajador(es) en tiempos previamente establecidos al azar, o en el mismo lugar de trabajo. Esta es una proposición extravagante, ya que si el observador va a permanecer continuamente en el lugar de trabajo, ¿por qué obligarlo a desechar deliberadamente una información útil y fácilmente obtenible? El puede muy bien tomar un cronómetro y hacer mediciones continuas y cuantitativas, mientras permanece allí.

Cómo lograr que el muestreo del trabajo sea competitivo en cuanto al costo

Existe una serie de modificaciones que pueden hacerse, tanto a la teoría como a la práctica comunes en el muestreo del trabajo, con el objeto de lograr que el costo del estudio sea más razonable.

Entre ellas podemos citar las siguientes:

1. Adóptense requerimientos más liberales en cuanto al error del muestreo; de esta manera se logra un mejor equilibrio entre el costo de medición y el error; pero, sobre todo, debe evitarse la práctica de tomar arbitrariamente, de un libro o artículo, el coeficiente e intervalo de confianza, o de adoptar los valores que se acostumbran usar en otras especialidades. Por el contrario, la elección debe basarse en las demandas particulares de cada situación, especialmente en el propósito que se persigue con la estimación, las consecuencias posibles de los diversos errores de muestreo, etc.

2. Redúzcase el costo de las observaciones, para lo cual se recomienda:

   a. Observar tanto operadores (o máquinas) por viaje del observador, como lo justifique la homogeneidad de los trabajadores (o máquinas). Lo que es crítico en la determinación del costo de un muestreo del trabajo, es el tiempo que el observador emplea en cada observación, el cual en ocasiones es extremadamente largo; la reducción de este "costo unitario de observación", es crucial para la aceptabilidad de este método con respecto a otros, y aun cuando esta práctica probablemente aumente los sesgos del estudio, parece ser que sin embargo es conveniente agrupar las observaciones. Siempre que las observaciones se toman en grupo, y no pueda suponerse independencia con seguridad, la varianza de P_i debe estimarse por medio del método descrito anteriormente para este tipo de situaciones.

   b. Hacer simultáneamente varios estudios de muestreo del trabajo. Lo que en otra forma pudieran ser estudios de diferentes operaciones, actividades o departamentos, efectuados independientemente, puede en ocasiones transformarse en estudios efectuados paralelamente, de tal manera que cada viaje del observador sea productivo en observaciones.

   c. Emplear personal semitécnico que perciba un salario menor, en la recopilación de la mayoría de las observaciones, ya que se aumenta considerablemente el costo del estudio, al permitir que los ingenieros u otros empleados igualmente calificados realicen este trabajo. Esto no sólo constituye un gasto innecesario, sino que es una situación paradójica, ya que una especialidad cuyo fin primordial es la utilización efectiva de los recursos humanos, estaría utilizando ineficazmente los propios; además, este tipo de práctica de ningún modo aumenta la valía y el prestigio del departamento de estudio de tiempos ante los ojos del resto de la organización, y puede ser especialmente detrimento en cuanto a la actitud del personal obrero hacia el estudio de tiempos e ingenieros. La recopilación de las observaciones en un muestreo del trabajo, es una de las muchas tareas que pueden ser realizadas por empleados con una preparación semitécnica; sin embargo, el diseño del estudio, la ejecución de un estudio piloto, la supervisión de la fase de la recopilación de datos y la interpretación de los resultados, deberán ser realizados por un experto calificado (el cual se espera que tenga algún adiestramiento en estadística).

3. Redúzcase el costo de procesar los datos, empleando las siguientes recomendaciones:

   a. Registrar directamente las observaciones en tal forma que los datos puedan procesarse automáticamente; por ejemplo, existen tarjetas IBM especiales en las cuales el observador puede marcar directamente, de tal manera que los datos pueden tabularse, clasificarse y posteriormente procesarse en el equipo IBM.

   b. El uso de procedimientos simplificados de cálculo, tales como nomogramas, tablas o gráficas, con el objeto de minimizar el tiempo necesario para calcular N, I y los límites de las cartas de control.

REFERENCIAS

Conway, Richard W., "Some Statistical Considerations in Work Sampling", *Journal of Industrial Engineering,* vol. 8, N' 2, Marzo-Abril 1957.

Davidson, Harold O., "Work Sampling-Eleven Fallacies", *Journal of Industrial Engineering,* vol. II, N' 5, Septiembre-Octubre 1960.

/

Los datos estándar

La tercera clase más importante de procedimientos de estudios de tiempo, se conoce como el método sintético (método de datos estándar). A manera de introducción, considérese una fábrica en la que se taladra una gran variedad de componentes metálicos, los que difieren en tamaño, forma, peso y dureza, variando los orificios taladrados, tanto en diámetro, como en profundidad, número, localización y tolerancias requeridas. Esta compañía ha estado usando estudios de tiempos por el método de parar y observar para establecer los tiempos estándar de todas las operaciones de taladrado. La gerencia se muestra insatisfecha por el número de horas-hombre que se consumen en establecer estos estándares, y está ansiosa por contar con los tiempos estándar antes de que se inicien los trabajos, con el fin de estimar los costos, programar la producción y tomar otras decisiones necesarias. En este caso, la compañía puede y debe sacar provecho del gran volumen de tiempos estándar de que ya dispone, valiéndose de los medios siguientes:

1. Analizar estos estándares para determinar si el tiempo normal para taladrar depende de las diversas características de la pieza en la que se está efectuando la operación y en qué forma lo hace.[1] Para el taladro, el tiempo normal *[TN)* es una función de la mayoría, o de todas las características mencionadas previamente, por lo que

TN = / (tamaño de la pieza), (forma de la pieza), (peso de la pieza), (dureza), (número de orificios),...

[1] Teóricamente, el tiempo normal de una operación es función exclusivamente del método y del concepto de ejecución normal que se tenga en la planta. Conceptualmente, no es una función del operador, su condición, la época del año, o ninguna de las variables que afectan al tiempo *real* pero no al tiempo *normal.*

2. Entonces y a partir de aquí, el tiempo normal para cualquier nueva operación de taladro, se establece substituyendo en la fórmula resultante las característir-s particulares de la pieza, y calculando el tiempo normal. tiempo estándar para la operación se obtiene añadiendo la tolerancia apro. piada por retardos y fatiga.

Lo anterior se conoce como el método de datos estándar para establecer los tiempos estándar. Bajo e<te sistema no es necesario medir directamente la operación; de hecho, tampoco es necesario observar la operación para poder establecer el estándar; lo único que se necesita es contar con las especificaciones de la pieza. Este procedimiento permitirá a la compañía establecer los tiempos estándar para sus operaciones de taladrado a una fracción del costo que requeriría estudios de tiempos individuales, y ayuda a establecer un estándar tan pronto como se conocen la pieza y las especificaciones.

Generalmente, los datos estándar expresan la relación que existe entre ciertas características pertienentes de una tarea, y el tiempo normal que se requiere para ejecutarla; en cierta forma, permite sintetizar este último a partir de las primeras.

La forma más común de dato estándar que se usa, se refiere al tipo elemental. En este caso, el tiempo normal para los varios elementos, E_1; E... etc., de la operación, se expresan individualmente como funciones de ciertas variables significativas; el tiempo normal total para el ciclo, es la suma de los tiempos normales elementales, entonces

$$TN = TN_{Eí} + TN_{EL} + TN_{EL} + \cdots TN_{E,,}$$

en donde

$$TN_{EI} = f(V_l),(V_2), \cdots f(V_N)$$

$$TN_{Ei} = f(Vxh(V_2), \cdots f(V_{,,})$$

$$TN_{Ex} = f(VI), [VI), \cdots f(V_{,,})$$

en donde V_j, V_2, $\cdots$ $V_{,,}$ son variables del trabajo que afectan al tiempo normal, por ejemplo, el tamaño, forma, peso y dureza. Si los elementos EI, E_2, $\cdots$ E_N, consisten en movimientos individuales como alcanzar, mover y colocar, el dato estándar se conoce como la técnica de tiempos de movimientos predeterminados (datos estándar microscópicos). Esta forma, introducida previamente, se ilustra por la Medición de Tiempos de Métodos (apéndice A). La técnica de tiempos de movimientos predeterminados se discutirá y analizará posteriormente, en el capítulo 20.

Si los elementos E_H E_2, $\cdots$ E_N, consisten de grupos de movimientos, tales como "tomar la pieza y colocarla en la guía", "iniciar la alimentación", "procesar la pieza" y "quitar la pieza de la guía y deshacerse de ella", entonces los datos se conocen simplemente como datos estándar (datos estándar macroscópicos).

La utilización de elementos no es una característica esencial de los datos estándar. Es posible, y en ocasiones deseable, olvidarse de los aspectos ele-

puntales y derivar una fórmula para calcular directamente el tiempo normal ***total.*** Este tipo, que se sugirió anteriormente para la compañía con muchas operaciones de taladrado, expresa el tiempo normal total para un tipo dado £]e operación, como una función de variables (características de la pieza), entonces:

$$TN=f(V_l\backslash_i.(V^{\wedge}(V_i),--- \qquad (V_n)$$

En resumen, los datos estándar aparecen comúnmente en varias formas, **a** saber: la forma elemental, que puede ser del tipo "macroscópico" o "microscópico", y la forma no elemental (fórmula).

Procedimiento para la obtención de los datos estándar

El procedimiento general para obtener los datos estándar, se asemeja al requerido para desarrollar cualquier procedimiento de predicción; se aplica el mismo procedimiento básico, ya sea que se trate de predecir el buen éxito en el trabajo a partir de ciertas características del empleado en prospecto, o de predecir el volumen de ventas a partir de ciertas características del negocio y el mercado, o de sintetizar el tiempo normal para una operación a partir de ciertas características del trabajo que se ejecutará. Esencialmente es un proceso para determinar las variables independientes que tienen un efecto significativo (determinantes sobre una variable dependiente; como por ejemplo, el éxito en el trabajo, volumen de ventas, o el tiempo normal para una operación; y de determinar también la naturaleza de la relación entre las variables dependiente e independientes, para que la primera pueda calcularse fácilmente, dados los valores específicos de las segundas. Por lo anterior, para obtener los datos estándar, es necesario primero determinar hipotéticamente las variables del trabajo, que afectan significativamente al tiempo normal para un tipo dado de operación, recolectar después los tiempos para una gran variedad de trabajos de ese tipo, y finalmente usar estos datos para determinar la relación (si es que existe alguna) entre el tiempo normal y cada una de las variables que se sospeche que afecten significativamente al tiempo normal.

Por ejemplo, se han obtenido los datos estándar para establecer los tiempos estándar de limpieza de oficinas, que se usarán por una empresa que presta este servicio contractualmente a las oficinas de muchas compañías. Los datos estándar los utiliza esta compañía para establecer las cuotas para clientes potenciales, para programar y para establecer estándares con fines de pagar incentivos. Para obtener éstos datos estándar, se partió de la hipótesis de que las variables tales como área del piso, tipo de piso, número de obstáculos movibles, número de obstáculos estacionarios, etc., afectaban significativamente al tiempo normal para limpiar una oficina. Con el objeto de probar esta hipótesis, se hizo una serie de estudios de tiempos para la limpieza de una variedad de oficinas, que diferían con respecto a las variables mencionadas anteriormente. Con estos datos, fue entonces posible

investigar el efecto que cada variable tenía sobre el tiempo normal; por ejemplo, el tiempo normal para barrer se gráfico contra el área, tal como se ilustra en la figura 99, para determinar la forma en que el tiempo normal para el elemento varía con el área del piso. Se hicieron investigaciones similares con otras variables hasta que se pudo determinar el efecto

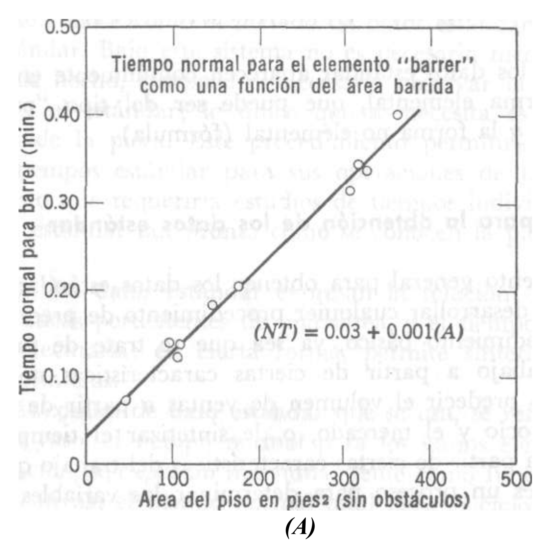


Figura 99. Gráfica hecha durante la Investigación de la hipótesis de que el área del piso afecta significativamente el tiempo normal para barrer.

de cada una de ellas; la siguiente es una forma simplificada de la fórmula que se obtuvo finalmente:

$$TN \text{ para limpiar la oficina} = 0.85 + 0.001\,V_1 + 0.013F_2 + 0.032F_3 + 0.065\,F_4 + 0.03\,F_¡ + 0.01176$$

en donde

V = área libre en discos de madera o azulejos (pies cuadrados);
Vi = área de la alfombra (pies cuadrados);
V3 = número de objetos movibles, por ejemplo sillas;
F_4 = número de objetos estacionarios, piso accesible, por ejemplo, mesa o escritorio;
Vs = número de objetos estacionarios, piso inaccesible, por ejemplo, archivero.
VF, = área que será desempolvada (pies cuadrados).

El tiempo normal para una oficina dada puede determinarse a partir de esta fórmula, dadas las características representadas por las variables anteriores; el tiempo estándar se obtiene agregando a este tiempo la tolerancia necesaria. A manera de ilustración, el tiempo normal para una oficina

,je 9 m (10 pies) por 10.50 m (35 pies) que contiene 4 escritorios, 10 sillas, 5 archiveros estándar y 540 pies cuadrados de área alfombrada, se calcula como sigue:

$$TN = 0.85 + 0.001(1{,}050 - 540) + 0.013(540) + 0.032(10)$$
$$4- 0.065(4) 4- 0.03(5) 4- 0.011(95)$$
$$= 9.86 \text{ minutos}$$

Si se agrega un 16 por ciento de tolerancia por fatiga y retardos, se obtiene un tiempo estándar de 11.44 minutos.

Lo discutido hasta aquí se refiere al procedimiento general para la obtención de tiempos estándar; mientras que el proceso específico que se sugiere para la obtención de los datos estándar, es como sigue:

1. Pasos preliminares, que incluyen:
   a. determinar en un principio si ¡os datos estándar son factibles económica y prácticamente;
   b. mejorar y estandarizar el método que se usa en la operación para la que se obtendrán los datos estándar;
   c. establecer la hipótesis con respecto a las variables que están significativamente correlacionadas con el tiempo normal;
   d. Decir qué tipo de información debe recopilarse y corno, con el objeto de establecer la relación entre el tiempo normal y las variables incluidas en la hipótesis. Específicamente:

      1) ¿Qué fuente(s) de datos de tiempo debe(n) usarse para investigar los efectos de las variables? ¿Es posible usar estudios de tiempo hechos previamente, que en la actualidad están disponibles en el archivo? ¿Deben realizarse estudios de tiempo especiales? ¿Pueden usarse tiempos de movimientos predeterminados o muestreo de trabajo, o es perferible alguna combinación de éstos?
      2) ¿Qué tipo de información concerniente a la pieza, métodos y calidad, debe recolectarse a medida que se realizan los estudios de tiempo para obtener los estándar? Si se va a probar subsecuentemente la correlación entre el tiempo normal y ciertas variables, será necesario conocer el valor particular de cada una de estas variables en que se basa cada uno de los tiempos normales.
      3) Si se van a usar estudios de tiempo elementales para recolectar los datos, ¿cómo deberán separarse los elementos? La estandarización de los puntos de los elementos, es de suma importancia debido a que frecuentemente, en la recopilación de datos, se emplea bastante tiempo e intervienen observadores diferentes. No adherirse a este desglose estandarizado de elementos, puede traer como consecuencia que un gran volumen de los datos del estudio de tiempo no pueda usarse para obtener los datos estándar.
      4) Si para obtener los datos de tiempo necesarios, deben realizarse estudios de tiempos especiales, ¿qué trabajos deberán observarse?; en otras palabras: ¿De qué trabajos deberá consistir la muestra, con el fin de obtener datos suficientes para cubrir un rango satisfactorio de cada variable?

Recolectar los datos, lo cual implica la ejecución de los estudios de tiempo necesarios, consultar los registros de estudios de tiempos realizados anteriormente, etc.

Procesar los datos recolectados con el fin de establecer la naturaleza de la relación entre el tiempo normal y cada una de las variables incluidas en la hipóte-

sis. Esta fase incluye generalmente hacer las gráficas y ajustar las curvas de procedimientos estadísticos.

4. Presentar los resultados en una forma que minimice el tiempo de aplicación y la dificultad y posibilidad de una aplicación equivocada; los resultados finales deberán incluir:

   a. "Los datos de trabajo", la tabla, gráfica, fórmula, nomograma, o una combinación de éstas, a partir de la cual se estimará el tiempo normal.
   Los datos de trabajo deberán suplementarse con lo siguiente:

   1) Instrucciones preparadas cuidadosamente en cuanto a la forma como debe obtenerse el tiempo estimado. Esto es muy importante, porque generalmente quien aplica los datos estándar no es la misma persona que los obtuvo; sino que para obtener tales datos, se requiere una persona muy bien entrenada y con experiencia, pero para aplicarlos debe requerirse sólo un oficinista.
   2) Una declaración definida y obvia de las limitaciones de los datos, la que deberá cubrir, el método, equipo, rango de variables, etc., a los cuales se aplican los datos. E^to debe hacerse para minimizar la posibilidad de que los datos se apliquen a operaciones no cubiertas por ellos.

   b. Un archivo completo que explique exhaustivamente la forma en que se obtuvieron los datos de trabajo; este archivo debe incluir todos los datos de referencia, cálculos, análisis, gráficas, etc.
   Este tipo de información es de vital importancia para ajustes futuros, verificaciones y revisiones de los datos.

Fuentes de obtención de los datos. Los datos de tiempos que respaldan a los datos estándar, esto es, aquello que defina la relación entre el tiempo normal y las variables significativas, deberán venir de archivos de estudios de tiempos, estudios de tiempo especiales, tiempos de movimientos predeterminados, muestreo de trabajo, o más probablemente, una combinación de éstos.

Lo que se conoce comúnmente como archivo de estudios de tiempo, es una acumulación de los registros de estudios hechos a lo largo de un período de tiempo prolongado, y según se fueron estableciendo los tiempos estándar; idealmente, lo único que debiera requerirse para obtener los datos de tiempo necesarios para obtener los datos estándar, sería ir al archivo de estudios de tiempo y sacar los relativos a una variedad de trabajos, suficientes para investigar las variables seleccionadas. Las ventajas de lo anterior son la disponibilidad y el costo casi nulo; las desventajas son la vulnerabilidad de tales datos, a cambio de método, calidad, equipo y condiciones, y a la variación en los puntos de separación elementales. El archivo de estudios de tiempo es, desde luego, la fuente preferida de obtención de datos, pero en ocasiones es de poca utilidad, inadecuado, o no se dispone de él; y como consecuencia, debe ser suplementado con otra fuente de información.

Si el archivo de estudios de tiempos no puede usarse o debe suplementarse, frecuentemente es necesario efectuar estudios de tiempo especiales, con el único propósito de obtener los datos estándar deseados. Una desventaja obvia de esta alternativa es el costo extra, la principal ventaja es la probabilidad de que los datos sean representativos de métodos, niveles de calidad, equipo y condiciones actuales.

La técnica de tiempos de movimientos predeterminados puede usarse, en un grado limitado, para sintetizar los datos estándar; por ejemplo, el número de tornillos por insertar, es una variable que debe tomarse en cuenta en los datos estándar que se derivan para las operaciones de ensamble de una compañía. Se usa un sistema de tiempos de movimientos predeterminados para sintetizar el tiempo necesario para colocar el tornillo, en ese caso, 0.046 min; después en la fórmula final, el tiempo para esta fase de la operación es 0.046/V en donde N es el número de tornillos que deben colocarse. El uso de la técnica de tiempos de movimientos predeterminados, con este fin presume que el analista tiene un conocimiento previo de las variables significativas y su efecto, ya que lo que el analista hace en realidad, es sintetizar el efecto de las variables; como una consecuencia, las variables que el analista no prevee con bases intuitivas, o las que no son reconocidas por el sistema particular de tiempos de movimientos predeterminados que se usa, probablemente no serán tomadas en cuenta dentro de los datos estándar obtenidos. Esta técnica es útil particularmente para llenar los huecos en los datos proporcionados por un estudio de tiempos.

Para desarrollar los datos estándar, en ocasiones se pueden usar los resultados obtenidos con un muestreo de trabajo; sin embargo, los datos estándar que se obtendrán no serán muy refinados y pueden no ser adecuados para muchos propósitos.

Algunos de los mejores trabajos efectuados para obtener datos estándar, son una combinación de estudios de tiempo especiales, tiempos de movimientos predeterminados y archivos de estudios de tiempos, en forma tal que se minimiza el costo de obtenerlos y se maximiza su calidad y alcance.

Balanceo entre el costo por obtención y aplicación, y el costo del error incurrido

Supóngase que para un cierto tipo de operación, se sospecha que las variables V_{j}, V_2, • • • V_7, contribuyen a la determinación del tiempo normal; se recopilan los datos de tiempos y se prueba la significación práctica y estadística de la correlación entre el tiempo normal y cada una de las variables. Como resultado de esta prueba se encuentra que algunas variaciones tienen una gran influencia sobre el tiempo normal, mientras que otras tienen poco o ningún efecto; supongamos que, en este caso, el grado de influencia es como sigue, con las variables en orden decreciente en cuanto a su efecto sobre el tiempo normal:

$$TN = f(V_T, \quad V_7, \; V\mathbf{i}, \; V\mathbf{u} \; V_H \; V_6, \; V_5)$$

En este punto del análisis de los resultados, es necesario decidir cuántas de las variables se incluirán en los datos estándar. No necesariamente deben tomarse en cuenta todas las variables que tengan algún efecto sobre el tiempo normal, de hecho, casi siempre se deben ignorar algunas variables